



Universidad
Carlos III de Madrid

TRABAJO DE FIN DE GRADO

**ARQUITECTURA Y PROCESO
SOFTWARE PARA UN
RECEPTOR ADS-B**

**GRADO EN INGENIERÍA DE SISTEMAS
AUDIOVISUALES**

AUTOR: Laura Martín Guio

TUTOR: Francisco Javier González Serrano

Leganés, Septiembre 2015

Título: Arquitectura y proceso software para un receptor ADS-B

Autor: Laura Martín Guio

Tutor: Francisco Javier González Serrano

EL TRIBUNAL

Presidente: Luis Sánchez Fernández

Vocal: José Ignacio Moreno Novella

Secretario: Adrián Amor Martín

Suplente: Tobías Mirco Kock

Realizado el acto de defensa y lectura del Proyecto Fin de Carrera el día 06 de Octubre de 2015 en Leganés, en la Escuela Politécnica Superior de la Universidad Carlos III de Madrid, acuerda otorgarle la CALIFICACIÓN de

PRESIDENTE

VOCAL

SECRETARI

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero dar las gracias a mi familia porque sin su ayuda y ánimo durante estos años, no hubiera sido posible haber llegado hasta aquí.

A Domingo y José Luis por haber confiado en mí para asignarme a este proyecto, y a Luis Miguel y Jorge por todo lo que he aprendido de ellos y por la paciencia que han tenido durante estos meses de trabajo.

Y por último y no por ello menos sentido, agradezco a mi tutor Francisco Javier González Serrano el tiempo que me ha dedicado y su ayuda prestada.

DEFINICIONES Y ACRÓNIMOS

DEFINICIONES

ADS-B (Automatic Dependent Surveillance – Broadcast)

Un medio por el cual cualquier objeto volador puede automáticamente transmitir y / o recibir identificación, posición, velocidad y datos adicionales en modo broadcast por un enlace de datos.

ADS-B Message

Un paquete de información broadcast por un vehículo, vuelo. Cada mensaje ADS-B contiene un juego de parámetros de vuelo. Existen diferentes formatos en cada mensaje y se necesitan varios de ellos para poder tener la información completa del vuelo.

Blanco

Para la finalidad de este documento, un blanco es específicamente definido como cualquier vehículo o aeronave equipada con un transpondedor con capacidad ADS-B, la cual ha sido configurada cumpliendo el estándar mínimo de rendimiento operativo.

Modo S

Un modo selectivo de direccionamiento del sistema radar de vigilancia secundario (SSR) que opera usando interrogaciones sobre la banda de 1030 Mhz y sobre las respuestas del transpondedor en los 1090 Mhz. El modo S también soporta el enlace de 2 vías de datos y el servicio ADS-B conocido como squitter extendido.

Squitter

Una transmisión espontánea generada en una frecuencia aleatoria o un evento conducido por un transpondedor sin la necesidad de ser interrogado.

ACRÓNIMOS

1090 ES	1090 MHz Extended Squitter
ADS	Automatic Dependent Surveillance
ADS-B	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast
ASTERIX	All Purpose Structured Eurocontrol Radar Information Exchange
ATC	Air Traffic Control
ATM	Air Traffic Management
ATS	Air Traffic Services
BDS	Comm-B Data Selector Subfield
BITE	Built-In Test Equipment
CMS	Control and Monitoring System
CPR	Compact Position Reporting
CRC	Cyclic Redundancy Check
DF	Downlink Format
ES	Extended Squitter
EUROCAE	European Organization for Civil Aviation Equipment
FAA	Federal Aviation Administration
FS	Flight Status
FTC	Format Type Code (ADS-B)
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GS	Ground Station
HW	Hardware
ICAO	International Civil Aviation Organization

IF	Intermediate Frequency
IFF	Identification Friend or foe
I/P	Identify/Position
Hz	Hertz (unit of frequency)
LAN	Local Area Network
MTL	Minimum Triggering Level for Transponders
NACp	Navigation Accuracy Category for Position
NACv	Navigation Accuracy Category for Velocity
NAV	Navigation
NIC	Navigation Integrity Category
NICbaro	Navigation Integrity Category for Barometric Altitude
NM	Nautical Mile
Pr	Probability of Receipt
RF	Radiofrequency
s	Seconds (unit of time)
SAC	System Area Code
SAR	Search And Rescue
SIC	System Identification Code
SIL	Surveillance Integrity Level
SPI	Special Position Identification
SSR	Secondary Surveillance Radar
SW	Software
UF	Uplink Format
TA	Traffic Advisory

TCAS	Traffic Alert and Collision Avoidance System
TMA	Terminal Area
TOA	Time of Applicability
TXP	Transponder
UTC	Universal Time Coordinated
VS	Vertical Status
TIS-B	Traffic Information Services-Broadcast
FIS-B	Flight Information System-Broadcast

RESUMEN

El enorme crecimiento del tráfico aéreo y el hecho de que haya extensas zonas que no están guiadas por ATC (Air Traffic Control) hace necesario el conocimiento del tráfico aéreo en tiempo real no sólo para los controladores de tráfico aéreo sino también para los pilotos.

Los radares actuales son muy lentos, los controladores aéreos reciben información de un avión en particular cada seis o siete segundos, esto hace unos años era una tasa de actualización adecuada pero ahora resulta insuficiente.

En aeropuertos con mucho tráfico, gran cantidad de aviones deben permanecer sobrevolando el aeropuerto a la espera de la orden de aterrizaje, ya que para aterrizar dependen de los controladores que tienen que dar instrucciones vía radio a cada aeronave, lo que es un desperdicio de combustible.

El ADS-B (Automatic Dependent Surveillance- Broadcast) es una tecnología de vigilancia aérea en la que un avión determina su posición a través del sistema de navegación por satélite GPS y la difunde periódicamente. Su característica principal es que proporciona información sobre la posición y velocidad en las tres dimensiones vía aire-aire a otras aeronaves y aire-tierra a la estación terrestre, además de información acerca de la aeronave, como por ejemplo la identificación, rumbo y el estado del avión.

Gracias a la comunicación entre aeronaves, los pilotos podrán monitorizar toda la información del tráfico que les rodea en una pantalla dentro del avión, CDTI (*Cockpit Display of Traffic Information*) y permitir la separación automática. La tasa de actualización de la posición es de medio segundo y con la posición del GPS que es mucho más fiable que la que se obtiene de los radares, por lo que cuando lleguen al aeropuerto podrán aterrizar directamente unos detrás de otros sin peligro de colisión, incluso cuando haya poca visibilidad debido a las condiciones climáticas, quitándole carga a los controladores aéreos que ya no tendrán que estar transmitiendo constantemente, sino sólo cuando los pilotos necesiten ayudar.

La comunicación aire-tierra proporciona a los controladores aéreos información de posición en tiempo real obtenida del GPS que es más precisa que la información disponible en los sistemas basados en radar actuales. Así, ATC podrá posicionar y separar aviones con una mayor precisión y periodicidad haciendo mucho más fluida la gestión del tráfico aéreo.

El ADS-B podría reemplazar a los radares como el principal método del control del tráfico aéreo mundial.

Este proyecto se ha centrado en la comunicación aire-tierra y más concretamente en el receptor terrestre ADS-B.

La comunicación de datos aire-tierra consta de tres módulos, el subsistema transmisor, el protocolo de transporte y el subsistema receptor.

En la aeronave o vehículo de superficie, el subsistema de transmisión ADS-B depende de dos componentes de a bordo, una fuente de navegación de alta integridad GPS y un enlace de datos (unidad ADS-B). Hay varios tipos de enlaces de datos ADS-B certificados, VDL mode 2 o 4, 1090 MHz Extended Squitter y 978 MHz UAT. Los más comunes operan a 1090 MHz, normalmente un transpondedor de Modo S modificado, o a 978 MHz. Según la FAA (Federal Aviation Association) los aviones que vuelen por debajo de 18.000 pies (5.500 m) deberían de utilizar el enlace de 978 MHz, ya que esto ayudará a aliviar aún más la congestión en la frecuencia de 1090 MHz.

En este caso, uno de los requisitos del proyecto es que se utilice 1090 MHz Extended Squitter que consiste en el envío periódico por parte de la aeronave de mensajes Extended Squitters a la frecuencia de 1090MHz. Para ello, se puede instalar un nuevo transpondedor que se haya fabricado con esta funcionalidad o modificar uno existente con una actualización de ADS-B, además de instalar una fuente de posición GPS certificada, si no la tiene. El formato de los Extended Squitters está definido por ICAO (International Civil Aviation Organization).

La función principal del receptor terrestre ADS-B es recibir los mensajes Extended Squitters que envía cada aeronave o vehículo terrestre, extraer los datos, procesarlos y mandarle la información a ATC.

Las principales ventajas del receptor ADS-B frente a los radares actuales son que para poder localizar el tráfico aéreo no transmite potencia, sólo recibe, por lo que reduce el consumo además de evitar el riesgo para el personal de alrededor y que puedan detectarlo, lo que es muy importante en el campo militar; tiene más precisión en la posición debido a que utiliza la posición GPS y que la tasa de actualización de los datos es mayor ya que recibe mensajes ADS-B cada medio segundo; otra de las ventajas es el coste que es mucho más bajo. Pero no tiene capacidad de datalink como los Radares Secundarios (comunicación entre el interrogador y el transpondedor).

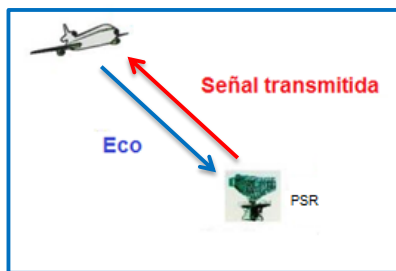


Fig.1 Funcionamiento Radar Primario

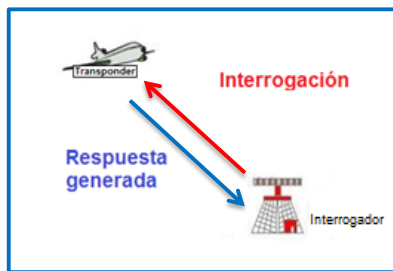


Fig. 2 Funcionamiento Radar Secundario.
Comunicación Interrogador -Transponderdor

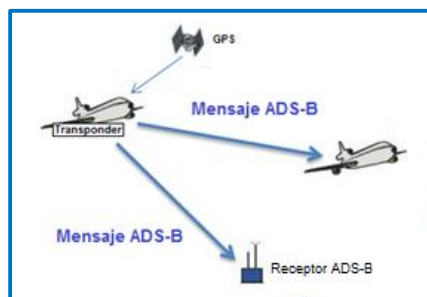


Fig. 3 Funcionamiento Sistema ADS-B

A lo largo de este documento se va a describir la arquitectura de la tarjeta de un receptor terrestre ADS-B y el desarrollo software llevado a cabo para su adecuado funcionamiento. El proyecto se ha realizado para el laboratorio IFF (Identification Friend or Foe) de Indra Sistemas. Imponiéndose el cumplimiento de los estándares DO-260B, ED-129 y ASTERIX Categoría 021.

También se cuenta con unos requisitos de precisión, capacidad y espacio. Debido a este último requerimiento y al hecho de la existencia de un interrogador (MSSR) en el rack donde se va a situar el ADS-B, tras sopesar las ventajas e inconvenientes, se ha llegado a la decisión de integrar el ADS-B en la tarjeta del interrogador por motivos como pueden ser el aprovechamiento de la tarjeta del interrogador o el hecho de no necesitar una antena adicional. Además, a pesar de que la mayoría de aeronaves ya transmiten Extended Squitters hasta el 2020 en la zona de Eurocontrol no será obligatorio, por lo que es recomendable utilizarlo como apoyo al radar secundario hasta entonces ya que sino habrá algunas aeronaves que el ADS-B no podrá detectar.

La arquitectura hardware que se ha utilizado para este receptor terrestre ADS-B es la siguiente:

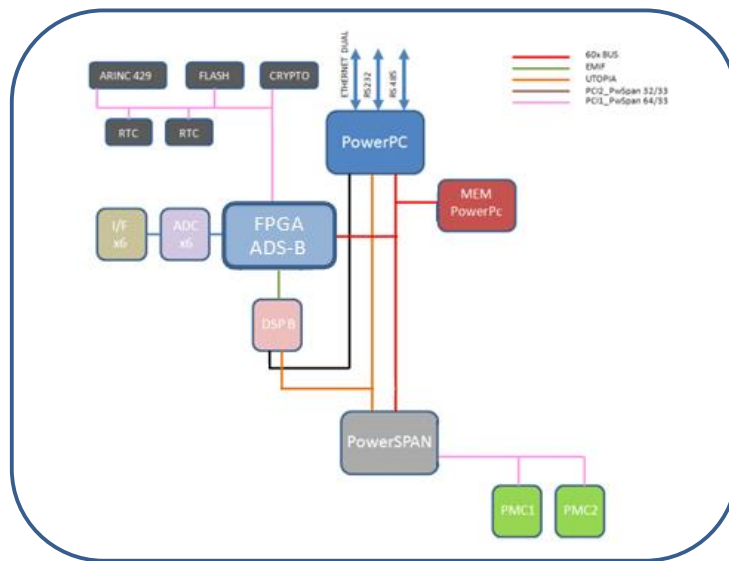


Fig. 4 Arquitectura Tarjeta ADS-B

Partiendo de una antena omnidireccional, se convierten las señales recibidas en señales digitales mediante conversores analógico digitales ADCs para ser tratadas por la FPGA. La FPGA le envía al DSPB, según la temporización de la puerta de vídeo, bloques de mensajes Extended Squitters. Una vez llegan al DSP, se decodifican según el formato que indica la norma DO-260B. Hay siete tipos de mensajes a decodificar:

- Airborne Position
- Surface Position
- Identification and Category
- Airborne Velocity
- Aircraft Status
- Target State and Status Information
- Aircraft Operational Status

Los subcampos de los Extended Squitters se muestran en el Anexo I. Además, esta versión de la norma indica que hay que mantener la compatibilidad con los mensajes de las versiones anteriores a ésta, es decir, a la DO-260 y DO-260A.

El estándar mundial de los controladores es ASTERIX (All Purpose Structured Eurocontrol Radar Information Exchange) por lo que los datos de salida del receptor ADS-B deben tener dicho formato (véase Anexo II de este documento). Para la conversión el DSP realizará una serie de cálculos de parámetros.

El DSP gestiona toda la información de cada blanco mediante una lista doblemente enlazada ordenada por la dirección anunciada que es única para cada uno. Cada vez que llega un Extended Squitter, El DSP comprueba si ya está en la lista esa dirección anunciada, si está y pasa todos los filtros de verificación definidos por la norma ED-129, se actualiza la información de ese blanco. Si por el contrario no está en la lista, también tiene que pasar unos filtros de verificación y si es así, se añade a la lista.

Cada blanco cuenta con una serie de temporizaciones asociadas a cada información, si cada cierto tiempo no se ha actualizado, esa información ya no tiene validez por lo que se procede a eliminarla. Además, todos los blancos tienen un temporizador general que si sobrepasa el tiempo fijado por la norma ED-129, el blanco entero se borra de la lista.

Todos los datos de la lista, además de cierta información importante para analizar el correcto funcionamiento del equipo se envía al microprocesador PowerPC.

El PowerPC, que se comparte con el interrogador, tiene como objetivo analizar la información recibida, añadir a cada blanco el estampado de tiempo correspondiente que no se puede añadir en el DSP por no disponer de hora local y enviar toda la información a un terminal de mantenimiento vía Ethernet. Desde este terminal de mantenimiento el usuario podrá ver en una pantalla PPI el tráfico aéreo además de poder configurar una serie de parámetros y controles para modificar tanto el funcionamiento de la FPGA como el del DSP.

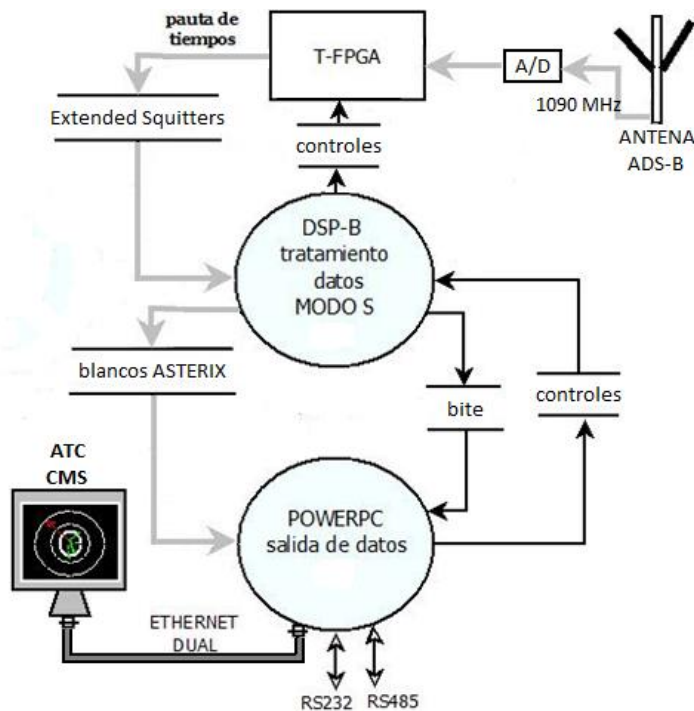


Fig. 5 Esquema de Funcionamiento Receptor Terrestre ADS-B

Para verificar el correcto funcionamiento del receptor ADS-B se han realizado dos tipos de pruebas, en el primero se ha utilizado un equipo que simula escenarios de blancos y en el segundo se han utilizado aeronaves reales que estaban sobrevolando la zona.

El simulador se ha utilizado para comprobar la precisión de la posición, analizar los datos recibidos y la correcta codificación en ASTERIX, ya que no se podía hacer con blancos reales por no disponer de la información real que envían éstas. También se ha usado para verificar que el ADS-B es capaz de procesar blancos a la máxima carga, dado que era imposible la realización de la prueba con tantas aeronaves o vehículos terrestres reales.

Por último para corroborar el correcto funcionamiento del sistema completo del receptor terrestre ADS-B se han hecho pruebas con blancos reales.

Tras realizar un estudio de cada una de las pruebas se han obtenido los siguientes resultados:

- El error medio cometido en la posición es:

	Requisito	Resultado medio obtenido
Distancia	$\pm 0,2$ NM	$\pm 0,06$ NM
Acimut	$\pm 0,1^\circ$	$\pm 0,002^\circ$
Altitud	± 30 m	$\pm 0,01$ m

- Todos los mensajes ASTERIX se han podido decodificar correctamente con un programa externo por lo que se confirma la correcta codificación de los mensajes ASTERIX.
- Al analizar los datos entrantes en el equipo de simulación con los datos salientes del ADS-B, se ha demostrado que son los mismos.
- Es capaz de procesar el máximo de blancos requerido.
- Se ha verificado el funcionamiento de la cadena completa del sistema.

ÍNDICE

1. Introducción.....	18
1.1 Descripción del proyecto.....	18
1.2 Historia y evolución de los sistemas de localización.....	18
1.3 Organización y estructura del proyecto.....	20
2. Tipos de sistemas de localización.....	22
2.1 Radar Primario.....	22
2.2 Radar Secundario.....	23
2.3 Receptor ADS-B.....	24
2.4 Comparación de tecnologías.....	25
2.5 Otros sistemas de localización/navegación en aviación.....	26
3. Descripción del problema.....	28
3.1 Requisitos del diseño.....	31
3.2 Sistema propuesto.....	32
4. Solución adoptada.....	33
4.1 Arquitectura Hardware tarjeta del interrogador.....	34
4.2 Arquitectura Hardware del receptor ADS-B.....	36
4.3 Descripción del diseño.....	38
4.4 FPGA.....	40
4.5 DSP	41
4.5.1 Decodificación de mensajes ADS-B.....	41
4.5.2 Fases de un blanco.....	44
4.5.3 Cálculos en el procesado de los mensajes ADS-B.....	46
4.5.3.1 Cálculo de la posición.....	46
4.5.2.1.1 Cálculo de la latitud.....	47
4.5.2.1.2 Cálculo de la longitud.....	48

4.5.2.1.3 Cálculo de la distancia y azimut.....	49
4.5.3.2 Decodificación de la velocidad.....	51
4.5.3.3 Decodificación del identificador del vuelo.....	52
4.5.4 Gestión de la lista.....	53
4.5.4.1 Inserción del blanco.....	53
4.5.4.2 Borrado del blanco.....	55
4.5.4.3 Actualización del blanco.....	55
4.5.5 Temporizadores.....	55
4.5.6 Envío de blancos.....	56
4.5.7 BITE.....	57
4.6 PowerPC.....	57
4.6.1 Comunicaciones PowerPC.....	57
4.6.1.1 Comunicaciones PowerPcC-DSP.....	58
4.6.1.2 Comunicaciones con el terminal de mantenimiento.....	59
5. Pruebas.....	60
5.1 Pruebas con simulador de escenarios.....	60
5.1.1 Escenario 1.....	61
5.1.2 Escenario 2.....	66
5.1.3 Escenario 3.....	70
5.2 Pruebas con tráfico real.....	71
6. Conclusión y futuras líneas de trabajo.....	74
7. Futuras líneas de trabajo.....	75
8. Planificación y presupuesto.....	78
8.1 Planificación.....	78
8.2 Presupuesto.....	80

Bibliografía.....82

ANEXO I: Formato Extended Squitters ADS-B DO-260B.....83

ANEXO II: Formato ASTERIX Categoría 021.....92

1. INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

En esta memoria se describe tanto la arquitectura hardware de la tarjeta en la que se ha implementado un receptor del sistema de vigilancia aérea ADS-B (Automatic Dependant Surveillance-Broadcast) como todo el proceso software llevado a cabo para su correcto funcionamiento según las normas ED-129 y DO-260B.

Este proyecto se ha realizado para el laboratorio IFF (“Identification Friend or Foe”) de INDRA Sistemas.

1.2 HISTORIA Y EVOLUCIÓN DE LOS SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN



Imagen 1 Tomada www.lavanguardia.com

Antes del uso de los radares para el control del tráfico aéreo, la posición de una aeronave se calculaba por la tripulación de la misma y se transmitía a los controladores vía radio.

En la II Guerra Mundial, se comenzaron a usar los primeros radares de vigilancia aérea, los cuales utilizaban las reflexiones de las ondas electromagnéticas para determinar la distancia de las aeronaves con respecto a la estación radar en función del tiempo que transcurría desde que se emitía la señal hasta que ésta retornaba. A este tipo de radar se le conoce como Radar Primario, PSR (Primary Surveillance Radar). Hasta este punto los controladores tenían una foto del espacio que les rodeaba donde se mostraban los blancos como puntos pero no podían identificarlos. La correlación de los aviones estaba a cargo de los controladores.

También durante el transcurso de la guerra, por la necesidad de identificar los blancos, en el campo militar se desarrolló el sistema IFF (Identification Friend or Foe) para poder distinguir aeronaves o vehículos enemigos de los que no lo son mediante códigos encriptados que sólo los aliados pueden descifrar. Este sistema se basa en el uso de un transpondedor, el cual funciona de receptor y transmisor, dentro de la aeronave y un interrogador que normalmente está situado en la base terrestre que interroga a la aeronave y ésta emite una respuesta.

Unos años más tarde, en el campo civil y tomando como base el sistema IFF se implementó el Radar Secundario SSR (Secondary Surveillance Radar) o en Estados Unidos ATCRBS (Air Traffic Control Radar Beacon System).

Ambos, IFF y SSR con el paso del tiempo se han ido mejorado para dar información mucho más detallada como la altitud, posición e identificación. El objetivo de toda esta tecnología es que el controlador aéreo pueda localizar todas las aeronaves y así controlar el tráfico aéreo. Sin embargo el tráfico aéreo tal y como se observa en la siguiente imagen ha tenido un inmenso crecimiento a lo largo de los años.

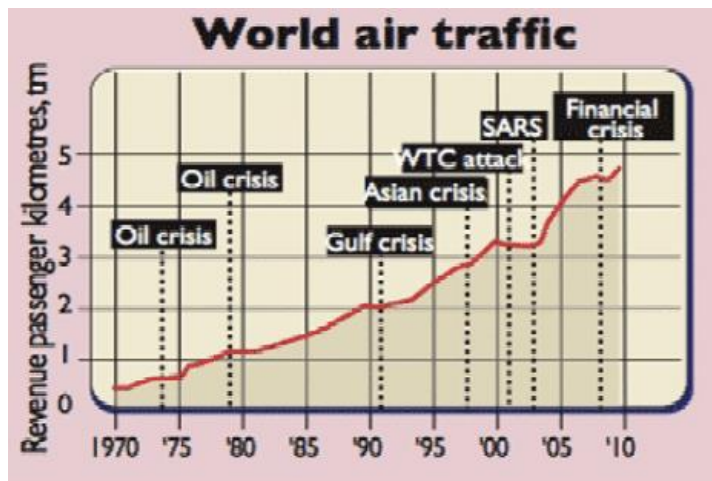


Imagen 2 World Air Traffic

Este crecimiento y el hecho de que hay enormes zonas que no están guiadas por ATC (Air Traffic Control) hacen necesario el conocimiento del tráfico aéreo en tiempo real también para los pilotos.

El ADS-B proporciona información sobre la posición y velocidad en las tres dimensiones vía aire-aire a otras aeronaves y aire-tierra a la estación terrestre, entre otros datos. Además la posición tiene más precisión debido a que envía la posición GPS, mejorando así la fluidez del tráfico aéreo. Este sistema podría reemplazar a los radares como el principal método del control del tráfico aéreo mundial.

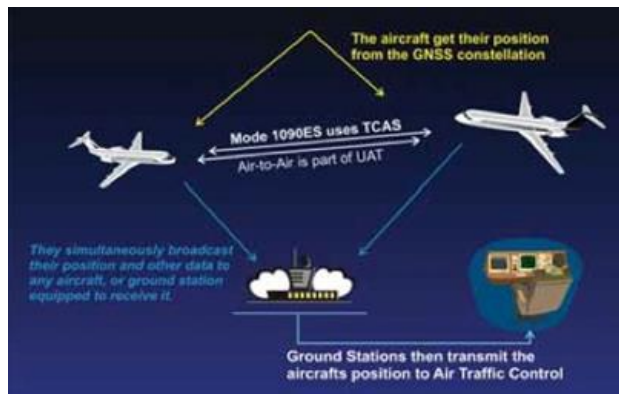


Imagen 3 sportysacademy.com

El ADS-B es un componente integral del Next Generation Air Transportation System (NextGen) de Estados Unidos para la actualización y la mejora de la infraestructura de la aviación y las operaciones y en Europa del Single European Sky ATM Research (SESAR).

Actualmente, Canadá ya está utilizando el ADS-B para el control del tráfico aéreo. En algunas partes del espacio aéreo australiano también es obligatorio. Sin embargo en Estados Unidos no será obligatorio que lo tengan algunas aeronaves hasta el 2020 y Europa hasta el 2017.

1.3 ORGANIZACIÓN Y ESTRUCTURA DEL PROYECTO

Como se ha mencionado anteriormente, en este proyecto se va a explicar la arquitectura y el proceso software seguido de un receptor ADS-B para ATC.

En el capítulo 2 se va a hacer una descripción y comparativa de métodos de localización del tráfico aéreo.

En el capítulo 3 se van a exponer los problemas que genera el rápido crecimiento del tráfico aéreo, se va a explicar el funcionamiento del sistema ADS-B y justificar cómo resolvería este problema. Además, también se van a enumerar los requisitos para llevar a cabo este proyecto y un sistema propuesto.

En el capítulo 4 se va a explicar detenidamente todo el proceso seguido para lograr el correcto funcionamiento del receptor terrestre ADS-B teniendo en cuenta los requisitos previamente descritos.

En el capítulo 5 se describen las pruebas realizadas con sus procedimientos y resultados correspondientes.

En el capítulo 6 se exponen las principales ideas y conclusiones derivadas de la realización del proyecto.

En el capítulo 7 se apuntan así las posibles líneas de trabajo que se podrían desarrollar.

En el capítulo 8 se muestra la planificación seguida para desarrollar este Trabajo de Fin de Grado y un análisis de los costes del diseño y desarrollo del mismo detallando el coste de personal y del material necesario para llevar a cabo su realización.

En el Anexo I se detallan los subcampos de cada tipo de mensajes ADS-B según la norma DO-260B.

Por último, en el Anexo II se muestra el formato de los mensajes ASTERIX Categoría 021.

2. TIPOS DE SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN

2.1 RADAR PRIMARIO:

Los radares primarios (PSR) utilizan las reflexiones de las ondas electromagnéticas para determinar la distancia de las aeronaves con respecto a la estación radar en función del tiempo que transcurre desde que se emite la señal hasta que ésta retorna.

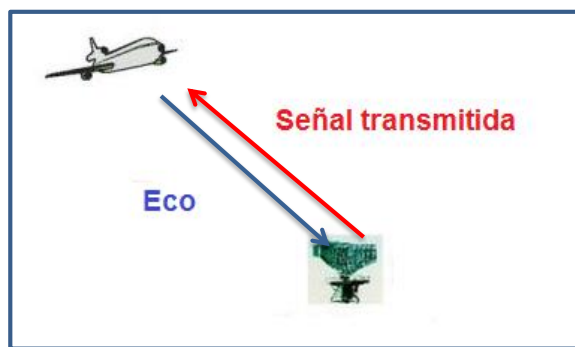


Fig. 1 Funcionamiento Radar primario

La orientación azimuth se determina por la directividad de la antena, que es la capacidad que tiene la antena de transmitir toda la energía concentrada en una sola dirección. Dependiendo de la dirección a la que la antena esté apuntando cuando se recibe el eco, se puede saber el ángulo azimuth del blanco. Con la distancia y el azimuth, se puede conocer la posición. La precisión depende del tamaño de la antena.

La principal desventaja de este tipo de radares es que sólo muestra las aeronaves como puntos en la pantalla sin poder identificarlas, además de que el radar necesita mucha potencia para asegurarse de que la señal retorne.

Hoy en día, el radar primario se utiliza en vigilancia aérea en la fase de vuelo del despegue, en la de aproximación junto con un radar secundario de corto alcance y en la de aterrizaje.

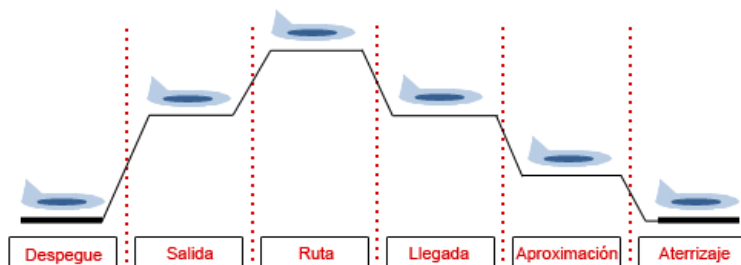


Fig 6. Fases del Vuelo (www.enaire.es)

Además este radar también se utiliza en meteorología, se le conoce como radar meteorológico o radar meteo y se usa para localizar precipitaciones y estimar la dirección y velocidad del viento.

2.2 RADAR SECUNDARIO:

Este sistema está compuesto por dos subsistemas, el transpondedor y el interrogador.

El interrogador codifica señales en forma de pulsos modulados en amplitud y en fase para los radares secundarios mejorados de Modo S. A estas señales se las denomina interrogaciones. Los interrogadores suelen estar en las estaciones terrestres e interrogan a las aeronaves.

El transpondedor, que está dentro de la aeronave, funciona de receptor y transmisor. Recibe las interrogaciones en la frecuencia 1030 MHz, las procesa y responde al interrogador en la frecuencia 1090MHz en función del tipo de interrogación indicando datos como su altitud e identificador.

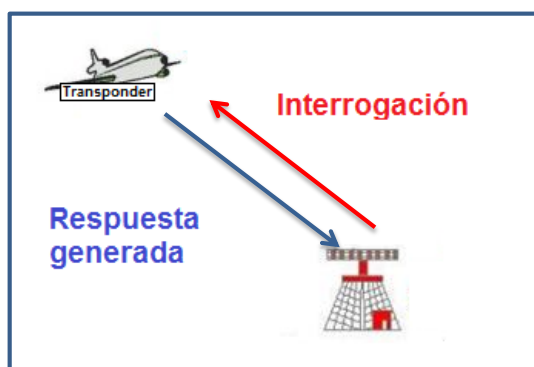


Fig.2 Funcionamiento Radar Secundario

Las principales ventajas de los Radares Secundarios frente a los Radares Primarios son que manejan mucha más información sobre la aeronave como

por ejemplo la identificación; que la señal que le llega al interrogador del transpondedor tiene mucha más potencia que la que se recibe de la onda reflejada del Radar Primario, lo que permite un mayor alcance y la reducción de problemas de atenuación de la señal y esto hace que la potencia necesaria para interrogar sea menor que la que debe tener un Radar Primario.

Si una aeronave no tiene transpondedor ya que sino éste blanco será invisible para la estación terrestre, como es el caso de las avionetas. Por lo tanto en algunas zonas ambos deben coexistir para detectar todos los blancos.

Recientemente se han desarrollado los Radares Secundarios de Modo S o Selectivo. La diferencia con respecto a los anteriores es que este tipo de radares permite la selección de la aeronave a la que se quiere interrogar ya que en espacios aéreos muy congestionados puede que las respuestas de dos aeronaves que estén muy próximas se solapen y sea imposible recuperar los datos, mientras que con el modo S se puede seleccionar cada aeronave y así poder gestionar mejor espacios con mucho tráfico. Además tiene más resolución en altitud, 25 pies frente a los 100 de los anteriores.

Una aplicación de los Radares Secundarios en el campo militar es la Identificación Amigo o Enemigo (IFF) en las que las interrogaciones y respuestas están encriptadas. Sólo los aliados pueden descifrar las señales. Además, un IFF permite la identificación temprana de una aeronave puesto que puede apuntar con la antena directamente a una aeronave para interrogarla sin necesidad de esperar a que la antena termine de recorrer los 360° como ocurre con los SSR.

Los SSR se utilizan en la fase de salida, ruta y llegada y junto con un Radar Primario en la de aproximación.

2.3 RECEPTOR ADS-B

El ADS-B (Automatic Dependent Surveillance- Broadcast) es una tecnología de vigilancia cooperativa en la que un avión determina su posición a través del sistema de navegación por satélite GPS y la difunde periódicamente, lo que le permite realizar un seguimiento. La información puede ser recibida por las estaciones terrestres de control de tráfico aéreo y por otras aeronaves para proporcionar conocimiento de la situación representando el tráfico circundante en una pantalla dentro del avión, CDTI (*Cockpit Display of Traffic Information*) y permitir la separación automática. Este sistema podría reemplazar el radar como el principal método de vigilancia para el control del tráfico aéreo en todo el mundo.

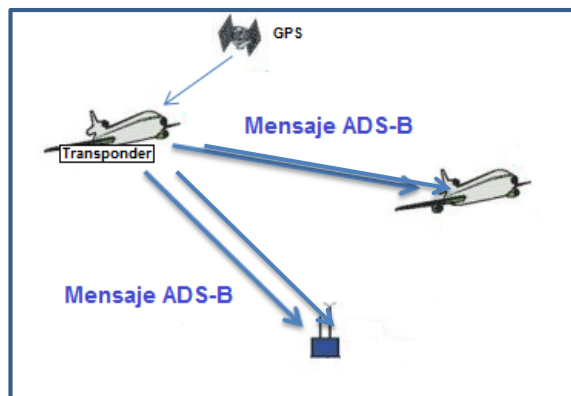


Fig. 3 Funcionamiento Sistema ADS-B

Las principales ventajas de utilizar el receptor ADS-B como sistema de localización son que no transmite potencia, es pasivo ya que sólo recibe, por lo que reduce el consumo además de evitar el riesgo para el personal de alrededor y que puedan detectarlo, lo que es muy importante en el campo militar; tiene más precisión en la posición debido a que utiliza la posición GPS y que la tasa de actualización de los datos es mayor ya que recibe mensajes ADS-B cada medio segundo; otra de las ventajas es el coste que es mucho más bajo. Pero no tiene capacidad de datalink como los Radares Secundarios (comunicación entre el interrogador y el transpondedor).

2.4 COMPARACIÓN TECNOLOGÍAS:

	Independiente	Cooperativo	Cálculo posición	Tasa actualización	Consumo	Tamaño	Coste
Radar Primario (PSR)	si	no	Efecto Doppler	12"	19,2 KW	4,8m x 5,2 m	500.000€
Radar Secundario (SSR)	si	si	Efecto Doppler	6-7 "	2 KW	Equipo: 0,4 m x 0,49 Antena: 8.5m x 1.8m x 0,7m	400.000€
ADS-B	no	si	GPS	0,5"	0 KW	Equipo: 0,11 m X 0,19m X 0,25m Antena: 1 m x 0,5 m	60 000 €

Tabla 2 Comparativa Sistemas de Localización

Tal y como se puede observar en la tabla anterior el receptor ADS-B es la solución más barata, que menos consume y más pequeña pero es dependiente de los sistemas de navegación de abordo (GPS) para calcular la posición mientras que el Radar Primario y el Radar Secundario calculan la posición por el efecto Doppler.

Sin embargo si el SSR no coopera con el equipo transmisor de abordo, transpondedor, no podrá recibir más información que la de un radar primario, es decir, distancia y azimut. Al igual que el ADS-B que necesita la cooperación con un Transpondedor de Modo S que emita Extended Squitters (mensajes ADS-B) ya que sino el ADS-B será incapaz de detectar ese blanco.

2.5 OTROS SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN/NAVEGACIÓN EN AVIACIÓN

2.5.1 Airborne Collision Avoidance System (ACAS):

Se desarrolló en la década de 1980. Es un sistema independiente de la base terrestre y del control de tráfico aéreo y va a bordo de la aeronave para advertir al piloto de la presencia de otra aeronave que presenta peligro de colisión. Si el riesgo de la colisión es inminente, el ACAS indica una maniobra para reducirlo. En todos los vuelos comerciales de Europa y Estados Unidos es obligatorio su uso.

Más tarde se desarrolló una nueva versión del ACAS a la que se denominó Traffic Collision Avoidance System (TCAS), que interroga a los transpondedores de otras aeronaves y negocia tácticas para evitar las colisiones con ellos en caso de amenaza. Este sistema es muy caro y sólo lo suelen tener aviones grandes. El TCAS necesita que el otro transpondedor tenga al menos modo C para poder funcionar.

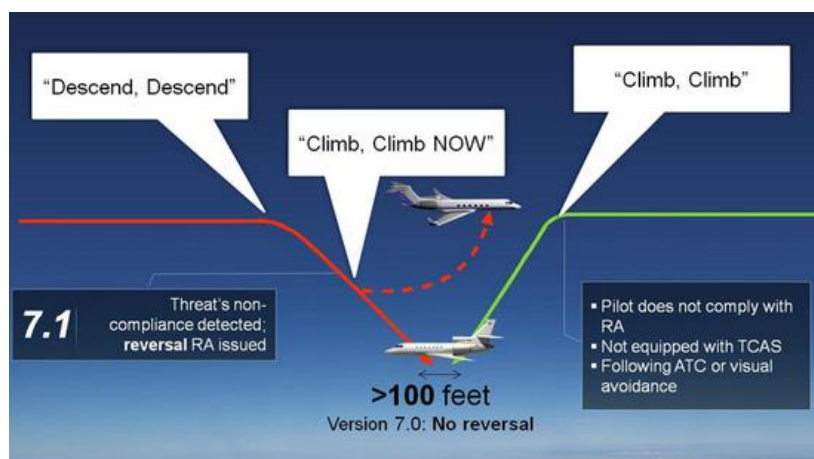


Imagen 4. Funcionamiento TCAS (www.fightsafety.com)

3. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Comentado [FJGS1]: Objetivo: conseguir que el lector entienda "técnicamente" el ADS-B

Los radares utilizados hoy en día son muy lentos para la cantidad de tráfico aéreo que hay en la actualidad y que está en crecimiento. Hasta la fecha, los controladores aéreos reciben información de un avión en particular cada seis o siete segundos, esto hace unos años era una tasa de actualización adecuada, pero ahora resulta insuficiente.

En aeropuertos con mucho tráfico, gran cantidad de aviones deben permanecer sobrevolando el aeropuerto a la espera de la orden de aterrizaje, ya que para aterrizar dependen de los controladores que tienen que dar instrucciones vía radio a cada avión, lo que es un gasto de combustible. Con el ADS-B además de los controladores, los pilotos podrán monitorizar toda la información del tráfico que les rodea en una pantalla digital cockpit con una tasa de actualización de medio segundo y con la posición del GPS que es mucho más fiable que la que se obtiene de los radares, por lo que cuando lleguen al aeropuerto podrán aterrizar directamente unos detrás de otros sin peligro de colisión, incluso cuando haya poca visibilidad, como consecuencia de las condiciones climáticas, quitándole carga a los controladores aéreos que ya no tendrán que estar transmitiendo constantemente, sino sólo cuando los pilotos necesiten ayudan.

La característica principal del ADS-B es que permite la transmisión de datos aire-tierra entre la aeronave y una estación terrestre ADS-B y aire-aire entre aeronaves.



Imagen 5 Transmisión Aire-Tierra
(www.icao.int)



Imagen 6 Transmisión Aire-Aire
(www.icao.int)

El ADS-B se basa en dos servicios diferentes, "ADS-B Out" y "ADS-B In".

El "ADS-B Out" difunde periódicamente información acerca de la aeronave, como la identificación, posición actual, altitud y velocidad, a través de un transmisor de a bordo a receptores terrestres ADS-B (comunicación aire-tierra) y a otras aeronaves (aire-aire). ADS-B Out proporciona a los controladores aéreos información de posición en tiempo real obtenida del GPS que es más precisa que la información disponible en los sistemas basados en radar actuales. Así, ATC podrá posicionar y separar aviones con una mayor precisión y periodicidad.

El "ADS-B In" es la recepción en la aeronave de datos ADS-B de otras aeronaves cercanas y TIS-B que es la información que emiten las estaciones terrestres del tráfico aéreo que ellos ven. Esto permite la representación del tráfico circundante en una pantalla dentro del avión CDTI, lo que hace que mucho más seguro el vuelo ya que el piloto puede ver en la pantalla al resto de las aeronaves que tiene alrededor. Además, a las de baja altitud también se les proporciona información climática FIS-B.

Este proyecto se ha centrado en la comunicación aire-tierra y más concretamente en el receptor terrestre ADS-B por lo que se procede a explicar más detalladamente este tipo de comunicación.

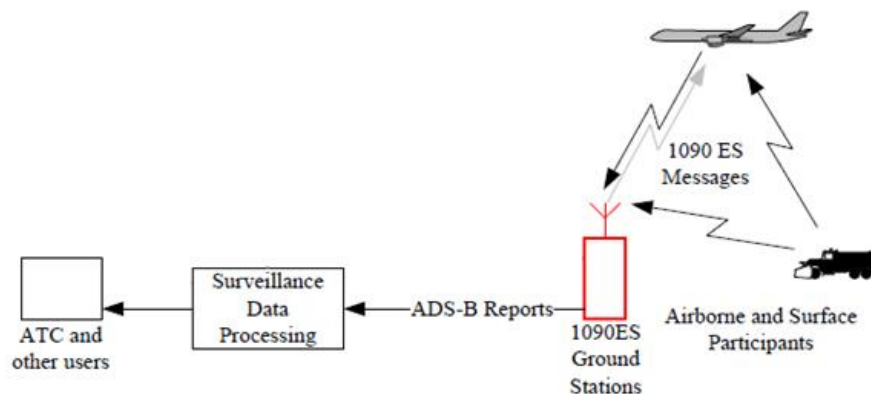


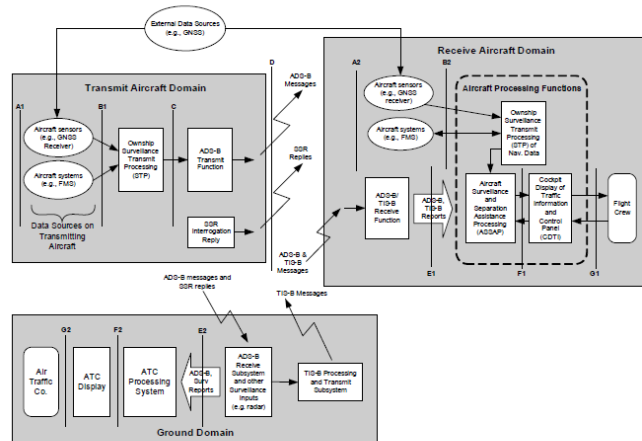
Imagen 7- Norma ED-129

La comunicación de datos aire-tierra consta de tres módulos, el subsistema transmisor, el protocolo de transporte y el subsistema receptor.

En la aeronave o vehículo de superficie, el subsistema de transmisión ADS-B Out depende de dos componentes de a bordo, una fuente de navegación de alta integridad GPS y un enlace de datos (unidad ADS-B). Hay varios tipos de enlaces de datos ADS-B certificados, pero los más comunes operan a 1090 MHz, normalmente un transpondedor de Modo S modificado, o a 978 MHz. Según la FAA (Federal Aviation Association) los aviones que vuelen por debajo de 18.000 pies (5.500 m) deberían de utilizar el enlace de 978 MHz, ya que esto ayudará a aliviar aún más la congestión en la frecuencia de 1090 MHz. Para que el ADS-B Out funcione a la frecuencia de 1.090 MHz, se puede instalar un nuevo transpondedor o modificar uno existente si el fabricante ofrece una actualización de ADS-B, además de instalar una fuente de posición GPS certificada si no la tiene.

La función principal del receptor terrestre ADS-B es recibir los mensajes que envía cada aeronave o vehículo terrestre, extraer los datos, procesarlos y mandarle la información a ATC.

FIGURE 2: ADS-B FUNCTIONAL ARCHITECTURE



NOTE: Pilot interface corresponds to B1 on the transmitting aircraft and G1 on aircraft receiving ADS-B information.

Imagen 8- Diagrama de Bloques Sistema ADS-B completo

Norma DO- 260B

Desgraciadamente todavía no se puede sustituir un radar por un ADS-B ya que aún no es obligatorio para todos los aviones que envíen Modo S Extended squitters, por lo que para el ADS-B muchas aeronaves serían invisibles. Por esta razón, hoy por hoy debe de utilizarse como un equipo de apoyo a un radar secundario para mejorar las prestaciones del SSR.

3.1 REQUISITOS DEL DISEÑO

Como se ha mencionado, en el proyecto se hace un desarrollo software de una tarjeta para un receptor terrestre ADS-B siguiendo los estándares DO-260B y ED-129. El ADS-B también tiene que cumplir los siguientes requisitos:

Requisitos Hardware:

- Entrada: vídeos de entrada analógicos
- Interfaces:
 - Ethernet
 - Arinc 429
 - RS-232
 - RS-485
- Reloj de tiempo real (RTC)
- Interfaz para la conexión de una unidad criptológica para futuras aplicaciones militares.
- Además, hay un problema de espacio en el rack donde tiene que colocarse el receptor ADS-B, en este rack también se encuentra un Radar Secundario de Modo S (interrogador) y los dos equipos no caben.

Requisitos Software:

- El receptor ADS-B debe tener capacidad para detectar y gestionar 300 blancos simultáneos.
- Los datos de salida del equipo deben estar en formato ASTERIX Categoría 021.
- La precisión de la localización debe ser igual o mayor a:
 - En distancia $\pm 0,2\text{NM}$
 - En azimut $\pm 0,1^\circ$
 - En altitud $\pm 30\text{m}$

3.2 SISTEMA PROPUESTO

Diagrama de bloques de la tarjeta:

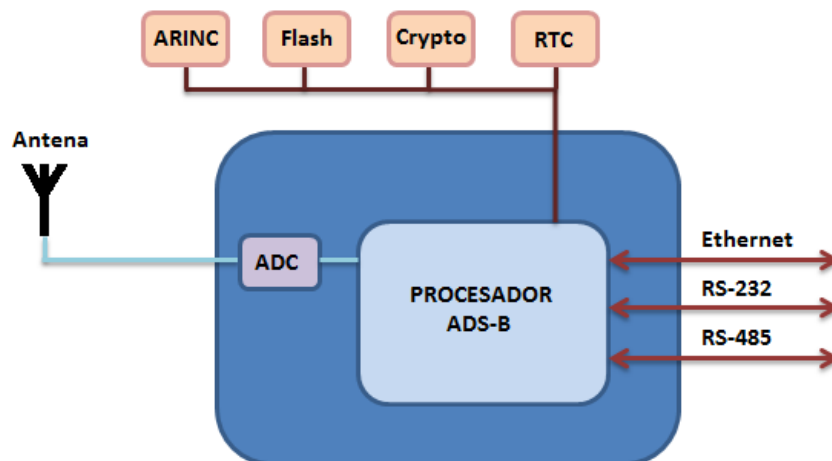


Fig. 7 Diagrama de Bloques de Tarjeta

4. SOLUCION ADOPTADA

El primer problema que se va a abordar es el del espacio disponible. La solución que se ha llevado a cabo para no tener que prescindir de ninguno de ellos ha sido integrar el ADS-B en el radar secundario existente. Esta decisión se ha tomado por los siguientes motivos:

- No necesita antena adicional.
- Se provecha el hardware del Radar Secundario.
- En situaciones de EMCON (silencio radar) el Radar Secundario no puede transmitir pero el ADS-B sigue recibiendo Squitters y enviando la información a ATC.
- Aporta información más precisa de los blancos ya que utiliza la posición GPS que es más fiable que la que aporta el MSSR. Pudiéndose fusionar las trazas de Radar Secundario y del ADS-B.
- Tiene una tasa de actualización de blancos mayor que la del MSSR por lo que permite seguirlo más tiempo.
- Es la solución más barata
- El ADS-B aporta blancos (DF18 y DF19) de equipos terrestres especiales (como aviones, autobuses) que están cercanos a aeropuertos y que el MSSR no puede detectar.
- No supone mantenimiento adicional.
- Al estar fusionado reduce consumo.
- Se puede utilizar el ADS-B como backup.
- En un futuro podrá disponer modos militares (modo 5) que nunca podría tener el civil si estuviese separado del MSSR.

Sin embargo, también existen algunos inconvenientes por el hecho de tenerlo integrado en un MSSR:

- Dado que comparten hardware y la fuente de alimentación si esta última falla dejarán de funcionar tanto el Radar Secundario como el ADS-B.
- Depende de la posición donde se coloque el MSSR.
- Tiene menos alcance ya que está ligado a la antena del MSSR.
- Menor independencia hardware para futuras ampliaciones o modificaciones.
- Será más complejo de adaptar a control WEB o protocolos de comunicaciones complejos ya que el MSSR limita a usar VxWorks.

4.1 ARQUITECTURA HARDWARE DE LA TARJETA DEL RADAR SECUNDARIO

La configuración de la tarjeta del Radar Secundario del que se dispone se muestra en la siguiente figura:

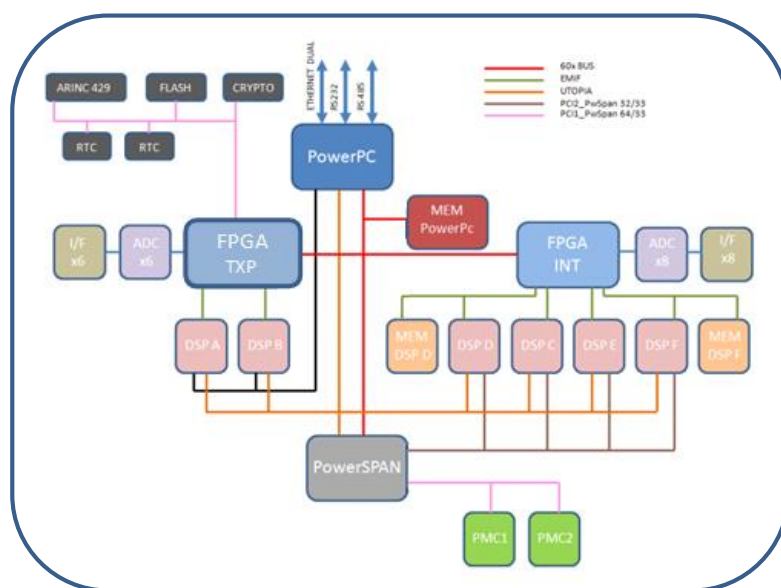


Fig. 8 Configuración Tarjeta Radar Secundario

La tarjeta es un procesador de señal basado en *DSPs*, que integra simultáneamente la funcionalidad de *transpondedor* e *interrogador* en un radar IFF.

La tarjeta incluye, como componentes principales:

- Seis *DSPs* de última generación de 64 bits, *TMS320C6416* de *Texas Instruments*, con frecuencias de funcionamiento de hasta 600MHz, un tiempo de ciclo de instrucción de 1,67ns y una capacidad de cálculo que puede alcanzar hasta las 4800 MIPS. El software de este modelo de *DSPs* es compatible con el de la familia *C62xx*. Este tipo de *DSPs* son de punto fijo.
- Un *procesador PowerPC*, *MPC8280* de *Motorola*, que gestiona las comunicaciones de la tarjeta y controla los periféricos de la misma.

- Un *bridge doble PCI*, *PowerSpan II CA91L8200*, de Tundra, que conectado al bus 60x del *PowerPC*, proporciona dos buses *PCI* adicionales. El *PowerSpan*, permitirá, por un lado, la conexión vía *PCI* entre los componentes mencionados en los puntos anteriores y, por otro, la conexión, también vía *PCI*, con las tarjetas *PMC* que como se detallará más adelante, podrán ser conectadas a la tarjeta.
- Dos *FPGAs EPS140* de Altera, que además de gestionar algunas de las interfaces externas de la tarjeta, han sido configuradas para permitir que se comuniquen con los elementos anteriores, de forma que se facilita el acceso a determinadas funciones de la tarjeta.

La tarjeta contiene dos bloques funcionales claramente diferenciados:

- El “*Bloque Transpondedor*” que está compuesto por dos *DSPs* (*DSPA* y *DSPB*), una *FPGA* y un conjunto de seis canales analógicos.
- El “*Bloque Interrogador*” que está formado por los otros cuatro *DSPs* (*DSPC*, *DSPD*, *DSPE* y *DSPF*), una *FPGA* y ocho canales analógicos.

Para cada uno de los dos bloques funcionales, se dispone además de los siguientes canales de comunicación que permiten el intercambio de datos entre los diferentes dispositivos que componen la tarjeta:

- *PowerPC* <-> *DSP*
- *DSP* <-> *DSP*
- Vídeos de entrada <-> *DSP* (a través de la *FPGA* correspondiente)
- *DSP* <-> *FPGA*
- *FPGA_Transpondedor* <-> *FPGA_Interrogador*
- Las tarjetas *PCM* podrán comunicarse con cualquiera de los dos bloques funcionales definidos (transpondedor o interrogador)

El *PowerPC* es un elemento común a los dos bloques funcionales y se encarga del control general de la tarjeta y de la gestión de las interfaces que permiten la comunicación de la tarjeta con el exterior.

Los siguientes puntos enumeran las diferentes interfaces que se implementan en la tarjeta, entendiendo aquí por interfaces tanto las que permiten la comunicación de esta tarjeta con el exterior, como las que permiten la comunicación entre los diferentes dispositivos que están presentes en la tarjeta.

- Interfaz *VME A24:D16:D08* (E,O)

- 2 interfaces *Ethernet* 10BaseT/100BaseTx
- Tres transmisores y seis receptores *ARINC-429*
- 2 canales *RS232*
- 2 canales síncronos *RS485*
- 14 entradas diferenciales de vídeo analógicas
- Interfaz para la conexión de un *crypto*
- Interfaz *JTAG* para programación y depuración
- Reloj de tiempo real (*RTC*)
- Bancos de memoria *SDRAM* asociados al *PowerPC* y a dos de los *DSPs*.
- Dos memorias Flash para almacenamiento de programa. (Una principal de 8Mb y otra de respaldo de 1Mb)
- Un bus *PCI* 32bits/33MHz que conecta dos de los *DSPs* (A y B) con el *PowerPC*
- Interfaz entre el *PowerPC* y el *PowerSpan* para proporcionar la conexión *PCI* entre los el *PowerPC* y los *DSPs* que componen el bloque procesador del bloque *interrogador*
- Interfaz de comunicación serie con los *DSPs*

Por otro lado, la tarjeta dispone de dos conectores que permiten acoplar sendas tarjetas *PMC*. Uno de los emplazamientos *PMC* (*PMC1*), podría utilizarse para conectar una tarjeta *PMC* con un *crypto*.

4.2 ARQUITECTURA HARDWARE DEL RECEPTOR ADS-B

De la tarjeta del radar secundario el bloque del interrogador está siendo utilizado pero el bloque del transpondedor está disponible por lo que se ha empleado éste para implementar el receptor ADS-B.

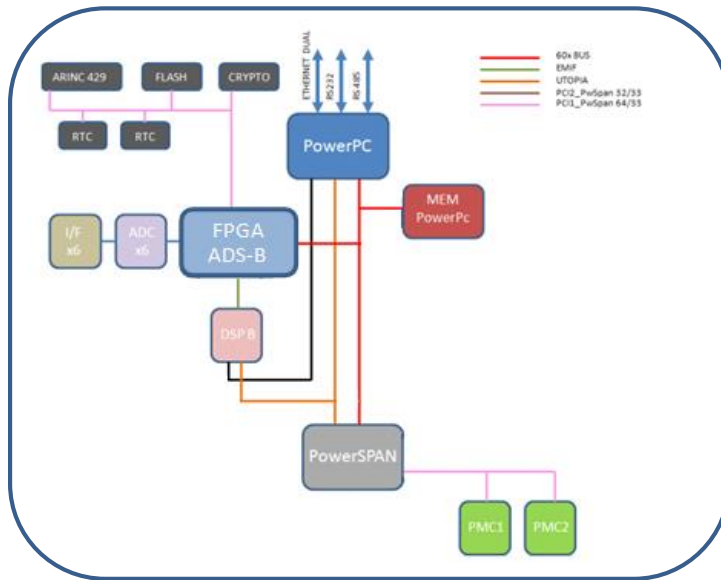


Fig. 9 Arquitectura Hardware del Receptor ADS-B

Dadas las características de los DSPs mencionadas anteriormente y tal y como luego se va a demostrar en el apartado de pruebas, con un solo DSP se puede realizar todo el tratamiento de los datos recibidos a la máxima carga requerida. En este caso se ha elegido el DSP B pero también podría haber sido el DSP A ya que son iguales. El DSP A se ha dejado para futuras aplicaciones militares del ADS-B.

El desarrollo software del DSP y del PowerPC se ha realizado programando en #C ya que los DSPs sólo se pueden programar en este tipo de lenguaje.

El compilador usado para programar el DSP es el Code Composer dado que es el compilador oficial de Texas Instruments, además de ser un compilador de #C de bajo consumo que cumple con la calificación militar para las futuras aplicaciones.

El compilador Windriver Workbench es el que se ha empleado para programar el PowerPC puesto que es un sistema operativo en tiempo real.

4.3 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO

La configuración que se ha llevado a cabo se presenta en la siguiente figura. En ésta se muestran las diferentes conexiones entre módulos (FPGA, DSP y PowerPC).

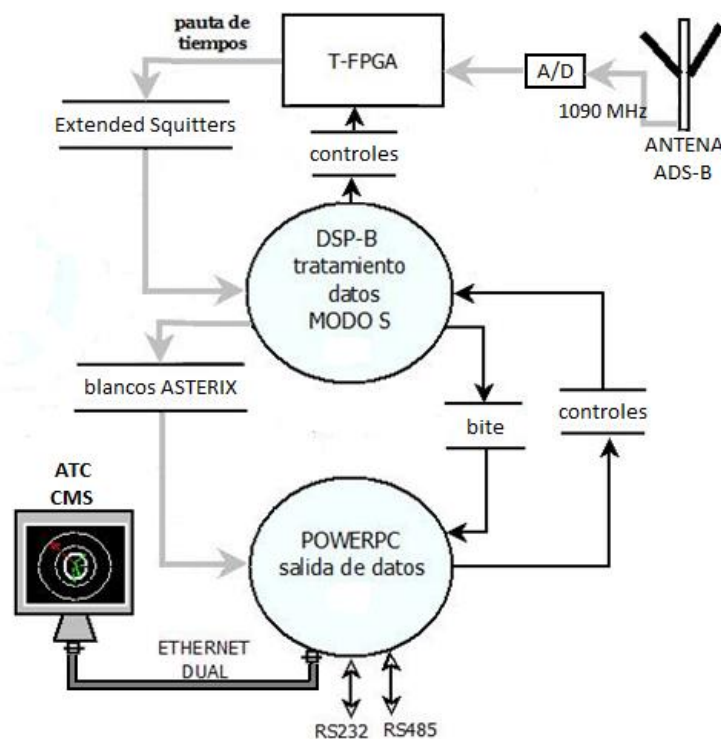


Fig. 5 Esquema de Funcionamiento Receptor Terrestre ADS-B

Como se ha mencionado con anterioridad, las funciones que debe realizar el software del receptor del ADSB son las siguientes:

- Gestión de llegada de squitters modo S (mensajes ADS-B).
- Procesado de estas respuestas de modo S.
- Reporte de blancos según el estándar Asterix Categoría 21.
- Realización de las funciones de autodiagnóstico (BITE) para detectar fallos en el sistema.

Partiendo de una antena omnidireccional que cubre el rango de 50 NM, se convierten las señales recibidas provenientes de aeronaves o vehículos terrestres especiales en señales digitales mediante conversores analógico digitales ADCs para ser tratadas por la FPGA.

El DSPB obtiene bloques de Extended Squitters de la FPGA según la temporización de la puerta de vídeo. Una vez captadas se decodifican según la norma DO-260B, se codifican en formato ASTERIX Categoría 021 (véase Anexo I para el formato de los Extended Squitters ADS-B de la norma DO-260B y Anexo II para el formato de Asterix) y se envía al PowerPC la información de cada blanco. Además, también se envía cierta información importante para analizar los datos desde el microprocesador y comprobar la correcta llegada y decodificación.

El PowerPC, que se comparte con el interrogador, analiza la información recibida, añade un estampado de tiempo a cada blanco y la envía por Ethernet a un terminal. Desde este terminal el usuario podrá configurar una serie de parámetros y controles, que harán que el DSPB descarte o añada información a la mostrada o que la FPGA varíe su funcionamiento.

A continuación se va a explicar módulo por módulo su funcionamiento y las conexiones que tienen entre sí.

4.4 FPGA:

La FPGA realiza las transferencias de bloques de Extended Squitters al DSP B al activarse un flag periódico o cuando se llena el bloque de memoria de mensajes.

La FPGA está recogiendo todos los vídeos de entrada que le llegan de la antena mientras la puerta de vídeo está abierta y los guarda en un espacio de memoria reservado de manera estática dividido en dos pilas. Al cerrarse la puerta de vídeo, en el flanco de bajada de la señal, se activa el flag de fin de puerta de vídeo FPV que genera una interrupción al DSPB para indicarle que tiene un bloque de datos pendiente de transferir. En este momento comienza la transferencia del bloque al DSP vía EDMA (Enhanced Direct Memory Access). En el caso de que se llene el bloque de memoria antes de que se cierre la puerta de vídeo también se genera la interrupción de bloque pendiente de transferir.

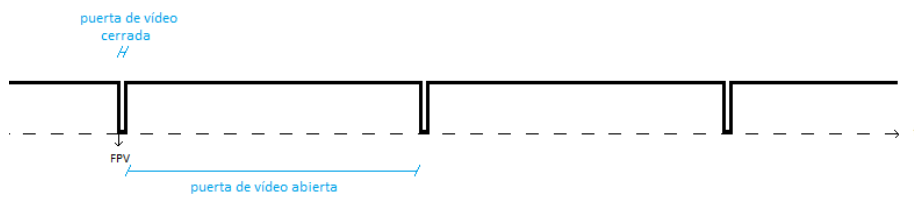


Fig. 10 Puerta de Vídeo

Una vez que se ha realizado la transferencia, la FPGA genera otra interrupción al DSP para indicar su finalización y que así pueda comenzar el DSP a procesar los datos.

El espacio de memoria en el que se guardan los datos se ha dividido en dos pilas para que la FPGA primero llene una de ellas y mientras se genera la interrupción de bloque pendiente y se realiza la transferencia al DSP, la FPGA pueda seguir recolectando datos introduciéndolos en la segunda pila.

Para decidir el tiempo en el que la puerta de vídeo está abierta y cerrada se han hecho un estudio probando diferentes combinaciones hasta llegar a los tiempos óptimos para perder la menor información posible.

4.5 DSP

El procesamiento de los Extended Squitters es el eje fundamental del software del receptor ADSB.

Una vez llegan al DSP, se decodifican según el formato que indica la norma DO-260B y se codifican en el formato ASTERIX para lo que hay que realizar una serie de cálculos de parámetros. El DSP gestiona toda la información de cada blanco mediante una lista doblemente enlazada ordenada por la dirección anunciada que es única para cada uno. Cada vez que llega un Extended Squitter, El DSP comprueba si ya está en la lista esa dirección anunciada, si está y pasa todos los filtros de verificación definidos por la norma ED-129, se actualiza la información de ese blanco. Si por el contrario no está en la lista, también debe pasar unos filtros de verificación y en el caso de que los supere, se añade a la lista.

Cada blanco cuenta con una serie de temporizaciones asociadas a cada información, si cada cierto tiempo no se ha actualizado, esa información ya no tiene validez por lo que se procede a eliminarla. Además, todos los blancos tienen un temporizador general que si sobrepasa el tiempo fijado por la norma ED-129, el blanco entero se borra de la lista.

4.5.1 Decodificación de los mensajes ADS-B

El formato de los mensajes ADS-B es el siguiente:

ADS-B and TIS-B Overall Message Format Structures					
Bit # →	1 ----- 5	6 ----- 8	9 ----- 32	33 ----- 88	89 ----- 112
DF=17 Field Names →	DF=17 [5]	CA [3]	AA ICAO Address [24]	ADS-B Message “ME” Field [56]	PI [24]
DF=18 Field Names →	DF=18 [5]	CF=0 [3]	AA ICAO Address [24]	ADS-B Message “ME” Field [56]	PI [24]
		CF=1 [3]	AA non-ICAO Address [24]		
		CF=2 to 3 [3]	AA [24]	TIS-B Message “ME” Field [56]	PI [24]
		CF=4 [3]	TIS-B and ADS-R Management Messages		PI [24]
		CF=5 [3]	AA non-ICAO Address [24]	TIS-B Message “ME” Field [56]	PI [24]
		CF=6 [3]	ADS-R, rebroadcast of an ADS-B Message from an alternate data link using the same TYPE Codes and Message Formats as are defined for DF=17 ADS-B Messages, with the exception of bits modified as identified in §2.2.18.		
		CF=7	Reserved		
DF=19 Field Names →	DF=19 [5]	AF=0 [3]	AA ICAO Address [24]	ADS-B Message “ME” Field [56]	PI [24]
		AF=1 to 7 [3]	Reserved for Military Applications		
	MSB LSB	MSB LSB	MSB LSB	MSB LSB	MSB LSB

Imagen 9 Formato Mensajes Extended Squitters. Norma DO-260B

El campo DF (Downlink Format) indica el tipo de formato de la respuesta de modo S. Los mensajes que se utilizan para el sistema ADS-B son los Extended Squitters DF17, DF18 y DF19. Pero los receptores terrestres civiles sólo procesan la información ADS-B por lo que hay que filtrar los mensajes TIS-B, ADS-R y los reservados para aplicaciones militares. Los mensajes que se van a tratar son los siguientes:

- Todos los DF17
- DF18 cuyo CF sea 0 ó 1
- DF19 cuyo AF sea 0

El campo AA (Announced Address) es la dirección anunciada, que es única para cada blanco y es la información que se ha utilizado para ordenar la lista.

El campo ME (Message) es el que contiene todos los datos ADS-B. Hay diferentes tipos de mensajes, los cinco primeros bits del ME son el *Type Code* que indica el tipo de cada uno tal y como se muestra en la siguiente tabla:

TYPE Code	Subtype Code	NIC Supplement			Format (Message Type)	Horizontal Containment Radius Limit (R _C)	Navigation Integrity Category (NIC)	Altitude Type	Notes
		A	B	C					
0	Not Present	Not Applicable			No Position Information (Airborne or Surface Position Messages)	R _C unknown	NIC = 0	Baro Altitude or No Altitude Information	1, 2, 3
1	Not Present	Not Applicable			Aircraft Identification and Category Message (§2.2.3.2.5)	Not Applicable	Not Applicable	Not Applicable	Category Set D
2									Category Set C
3									Category Set B
4									Category Set A
5	Not Present	0	--	0	Surface Position Message (§2.2.3.2.4)	R _C < 7.5 m	NIC = 11	No Altitude Information	
6		0	--	0		R _C < 25 m	NIC = 10		
7		1	--	0		R _C < 75 m	NIC = 9		
8		0	--	0		R _C < 0.1 NM (185.2 m)	NIC = 8		5
		1	--	1		R _C < 0.2 NM (370.4 m)	NIC = 7		
		1	--	0		R _C < 0.3 NM (555.6 m)	NIC = 6		
		0	--	1		R _C < 0.6 NM (1111.2 m)	NIC = 6		8
0		--	0	R _C > 0.6 NM (1111.2 m) or unknown		NIC = 0			
9	Not Present	0	0	--	Airborne Position Message (§2.2.3.2.3)	R _C < 7.5 m	NIC = 11	Baro Altitude	
10		0	0	--		R _C < 25 m	NIC = 10		
11		1	1	--		R _C < 75 m	NIC = 9		
12		0	0	--		R _C < 0.1 NM (185.2 m)	NIC = 8		5
		0	0	--		R _C < 0.2 NM (370.4 m)	NIC = 7		
		0	1	--		R _C < 0.3 NM (555.6 m)	NIC = 6		
		0	0	--		R _C < 0.5 NM (925 m)	NIC = 6		7
13		1	1	--		R _C < 0.6 NM (1111.2 m)	NIC = 5		
14		0	0	--		R _C < 1.0 NM (1852 m)	NIC = 5		
15		0	0	--		R _C < 2 NM (3.704 km)	NIC = 4		
16		1	1	--		R _C < 4 NM (7.408 km)	NIC = 3		6
		0	0	--		R _C < 8 NM (14.816 km)	NIC = 2		
		0	0	--		R _C < 20 NM (37.04 km)	NIC = 1		
		0	0	--		R _C > 20 NM (37.04 km) or unknown	NIC = 0		
19	0 1-4 5-7	Not Applicable			Reserved Airborne Velocity Message (§2.2.3.2.6) Reserved	Not Applicable		Difference between "Baro Altitude" and "GNSS Height (HAE)"	
20	Not Present	0	0	--	Airborne Position Message (§2.2.3.2.3)	R _C < 7.5 m	NIC = 11	GNSS Height (HAE)	2
21		0	0	--		R _C < 25 m	NIC = 10		
22		0	0	--		R _C ≥ 25 m or unknown	NIC = 0		
23	0 1-7	Not Applicable			Test Message (§2.2.3.2.7.3)				
24	0				Reserved				
	1				Surface System Status (§2.2.3.2.7.4) (Allocated for National Use)				
25-26	2-7				Reserved				
					Reserved (§2.2.3.2.7.5 and §2.2.3.2.7.6)				
27					Reserved for Trajectory Change Message (§2.2.3.2.7.7)				
28	0				Reserved				
	1				Extended Squitter Aircraft Status Message (Emergency/Priority Status) (§2.2.3.2.7.8.1)				
	2				Extended Squitter Aircraft Status Message (1090ES TCAS RA Broadcast Message) (§2.2.3.2.7.8.2)				
29	3-7				Reserved				
	0				Target State and Status Message (§N.3.5) (ADS-B Version Number=1, defined in RTCA DO-260A)				
30	1				Target State and Status Message (§2.2.3.2.7.1) (ADS-B Version Number=2, defined in these MOPS, RTCA DO-260B/EUROCAE ED-102A)				
	2-3				Reserved				
31	0-7				Reserved				
31	0-1	Aircraft Operational Status Message (§2.2.3.2.7.2)							
	2-7	Reserved							

Imagen 10 Clasificación Mensajes. Norma DO-260B

Según la norma DO-260B hay siete tipos de mensajes ADS-B a decodificar:

- Airborne Position (BDS 05)
- Surface Position (BDS 06)
- Identification and Category (BDS 08)
- Airborne Velocity (BDS 09)
- Aircraft Status (BDS 6,1)
- Target State and Status Information (BDS 6,2)
- Aircraft Operational Status (BDS 6,5)

El formato de cada uno de ellos está en el Anexo I. Además, esta versión de la norma indica que hay que mantener la compatibilidad con los mensajes de las versiones anteriores a ésta, es decir, con la DO-260 y DO-260A.

Una vez que se han decodificado todos los campos según la versión de la norma, el tipo de mensaje y subtipos, en el caso de que existan, se copian a una estructura temporal que recopila la información del blanco antes de ser validado. Si cumple los requisitos y pasa los filtros pertinentes se añade a la lista de blancos o si ya existe se actualiza la información codificada en formato ASTERIX Categoría 021.

4.5.2 Fases de un blanco:

Según la norma ED-129, las fases por las que debe pasar un blanco son la inicialización, mantenimiento y eliminación del blanco.

Para entender estas fases se va a explicar primero la codificación CPR.

4.5.2.1 Codificación CPR de la posición de un blanco:

La latitud y la longitud provenientes de los Squitters están codificadas en CPR (Compact Position Reporting).

Este tipo de codificación se creó especialmente para reducir el número de bits necesarios para transmitir la posición de los 1090MHz Extended Squitters.

		Without CPR	With CPR	Bits Saved with CPR
Airborne Position	Latitude	22	17	
	Longitude	23	17	
	CPR Fmt	0	1	
	Total	45	35	10
Surface Position	Latitude	24	17	
	Longitude	25	17	
	CPR Fmt	0	1	
	Total	49	35	14

Tabla 3.- Comparación Bits utilizados con algoritmo CPR y sin él. Norma DO-260B

Ahorrando 10 bits para las posiciones de las aeronaves que están volando y 14 para las que están en la superficie o vehículos especiales terrestres. Comprime los mensajes no enviando algunos de los bits de mayor orden que son constantes durante largos periodos. La codificación CPR utiliza dos tipos de formatos para conseguir una correcta codificación/decodificación sin ambigüedades, uno “par” y otro “impar” que se van alternando, por lo que se necesita un bit adicional para indicar el tipo de CPR. Una vez llegan los dos tipo de formatos CPR se puede decodificar la posición, a este procedimiento se le denomina “Decodificación global”. Antes no se podría ya que con un solo tipo de mensaje se obtendría como resultado varias posibles localizaciones. La ventaja es que éstas están separadas 360NM como mínimo, por lo que una

vez que se sepa la posición del blanco, con la llegada de un solo tipo de mensaje ya se puede decodificar la nueva posición, dado que no es posible que el blanco haya recorrido 360NM teniendo en cuenta que la tasa de envío de los mensajes de posición es de 0,4-0,6 segundos. A este último proceso se le conoce como “Decodificación local”.

Ahora ya que está explicada la codificación CPR y los tipos de decodificación, se puede proceder a describir las fases de un blanco.

INICIALIZACIÓN DEL BLANCO:

1. Llega un mensaje con un tipo de formato CPR y se espera a que llegue otro mensaje proveniente del mismo blanco con el otro tipo de formato para proceder al cálculo, en el caso de que el primero haya sido impar se esperará al par y viceversa.
2. Filtro de alcance: Si la diferencia de tiempo entre el mensaje par e impar es mayor de 10 segundos para aviones que están volando o en el caso de que estén en tierra si la velocidad es mayor de 25 nudos o es desconocida, se vuelve al primer estado dado que la posición del primer mensaje ya no se puede utilizar para la decodificación puesto que ha variado mucho a lo largo de ese tiempo. El segundo mensaje si se puede seguir utilizando.
Para blancos que estén en tierra con velocidades menores a 25 nudos, la restricción de tiempo será de 50segundos.
3. Si no se ha superado la diferencia de tiempos del apartado anterior, se procede a realizar la decodificación global.
4. Con la llegada del siguiente mensaje de posición se realiza la decodificación local.
5. Filtro de validación CPR: si la variación del resultado de la latitud y longitud entre la decodificación global y la local es mayor a un 1% se descartan los datos y se vuelve a la etapa inicial. Si es menor, el blanco pasa a la fase de mantenimiento.

MANTENIMIENTO DEL BLANCO:

Este es la fase en la que va a continuar el blanco hasta su borrado. Cada vez que llegue un mensaje de posición de un blanco se realizará la decodificación local. Si la posición resultante varía 6NM para aeronaves en la fase de vuelo o 2,5NM para blancos en tierra en menos de 30 segundos esta nueva posición no se reportará en el informe ASTERIX.

BORRADO BLANCO:

Los blancos que no hayan recibido ningún mensaje de posición pasados 120 segundos serán borrados. Si volviese a llegar información de ese blanco,

empezará en la fase de inicialización del blanco como si fuese uno nuevo.

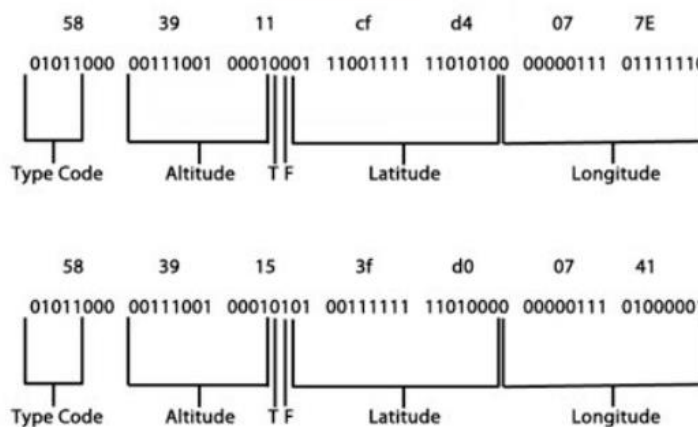
4.5.3 Cálculos en el procesado de los mensajes ADS-B

Para la mayoría de los datos que provienen de los Extended Squitters el proceso de la codificación a AXTERIX Categoría 021 es una asignación, pero hay otros en los que es necesario realizar una serie de cálculos.

4.5.3.1 Cálculo de la posición

Para explicar los cálculos que hay que realizar para la decodificación global de la latitud y de la longitud se va a hacer mediante un ejemplo.

Se han recibido estos dos mensajes de posición:



Mensaje 1:

Latitud = 01110011111101010 = 59370

Longitud = 00000011101111110 = 1918

Mensaje 2:

Latitud = 01001111111101000 = 40936

Longitud = 00000011101000001 = 1857

4.5.3.1.1 CÁLCULO DE LA LATITUD

Se comienza haciendo el cálculo del índice de latitud.

El índice de la latitud es calculado usando la siguiente fórmula:

$$j = \text{floor}\left(\frac{59 * \text{lat}(0) - 60 * \text{lat}(1)}{2^{17}} + \frac{1}{2}\right)$$

En el presente caso:

$$j = \text{floor}\left(\frac{59 * 59370 - 60 * 40936}{2^{17}} + \frac{1}{2}\right) = 8$$

Una vez el índice j ha sido calculado, los valores reales de latitud podrán ser calculados. Los valores de latitud para ambos paquetes deberán ser calculados y comparados.

$$Rlat0 = 6 + \left(\text{MOD}(j, 60) + \frac{\text{lat}_0}{2^{17}} \right)$$

Siendo $\text{MOD}(x, y) = x - y * \text{floor}\left(\frac{x}{y}\right)$

$$Rlat0 = 6 + \left(\text{MOD}(8, 60) + \frac{59370}{2^{17}} \right) = 51,71774^\circ$$

$$Rlat1 = \frac{360}{59} + \left(\text{MOD}(j, 59) + \frac{\text{lat}_1}{2^{17}} \right)$$

$$Rlat1 = \frac{360}{59} + \left(\text{MOD}(8, 59) + \frac{40936}{2^{17}} \right) = 51,71922^\circ$$

Dado que el último mensaje recibido fue el mensaje que tiene el formato CPR 1, la latitud resultante es $51,71922^\circ$.

El procedimiento para la decodificación local se detalla a continuación. Sólo se necesita un mensaje pero se tiene que seguir teniendo en cuenta si este es par o impar.

Para calcular la latitud primero se debe hallar el índice de la latitud j (YZ es la latitud del mensaje):

$$j = \text{floor}\left(\frac{lat_s}{Dlat_i}\right) + \text{floor}\left(\frac{1}{2} + \frac{\text{MOD}(lat_s, Dlat_i)}{Dlat_i} - \frac{YZ_i}{2^{Nb}}\right), \text{ siendo}$$

$$Dlat_i = \frac{360^\circ}{4 \cdot NZ - i}$$

Una vez calculado el índice se puede obtener la latitud mediante la siguiente fórmula.

$$Rlat_i = Dlat_i \cdot \left(j + \frac{YZ_i}{2^{Nb}}\right)$$

4.5.3.1.2 CALCULO DE LA LONGITUD

Primeramente se calculan dos parámetros, Dlon y el índice m. Este último similar al índice j para el caso de la latitud.

$$Dlon = \frac{360}{n_i} \text{ donde } n = \text{mayor } n = \text{mayor de [num de zonas de lat} - i] \text{ y } 1$$

$$m = \text{floor}\left(\frac{\text{long0} * (n_i - 1) - \text{long1} * n_i}{2^{17}} + \frac{1}{2}\right)$$

$$m = \text{floor}\left(\frac{1918*36-1857*37}{2^{17}} + \frac{1}{2}\right)=0$$

$$Rlon_i = \frac{360}{n_i} * \left(\text{MOD}(m, n_i) + \frac{\text{long}_i}{2^{17}}\right)$$

En nuestro caso:

$$Rlon0 = Dlon0 * \left(\text{MOD}(0,37) + \frac{1918}{2^{17}}\right) = 0.089287, \text{ siendo } n_i = 37$$

$$Rlon1 = Dlon1 * \left(\text{MOD}(0,37) + \frac{1857}{2^{17}}\right) = 0.089852$$

El procedimiento para la decodificación local se detalla a continuación. Sólo se necesita un mensaje pero se tiene que seguir teniendo en cuenta si este es par o impar.

Para calcular la longitud primero se deben hallar los índices Dlon y m

$$Dlon_i = \begin{cases} \frac{360^\circ}{NL(Rlat_i) - i}, & \text{when } NL(Rlat_i) - i > 0 \\ 360^\circ, & \text{when } NL(Rlat_i) - i = 0 \end{cases}$$

$$m = \text{floor}\left(\frac{lon_z}{Dlon_i}\right) + \text{floor}\left(\frac{1}{2} + \frac{\text{MOD}(lon_z, Dlon_i)}{Dlon_i} - \frac{XZ_i}{2^{Nb}}\right), \text{ siendo } XZ \text{ la longitud del mensaje}$$

Una vez calculado el índice se puede obtener la longitud mediante la siguiente fórmula.

$$Rlon_i = Dlon_i \cdot \left(m + \frac{XZ_i}{2^{Nb}}\right)$$

4.5.3.1.3 CALCULO DE LA DISTANCIA Y AZIMUT

También se necesita la posición en formato azimuth y distancia. Por lo que partir de la latitud y longitud se procede a calcular la distancia y el azimuth.

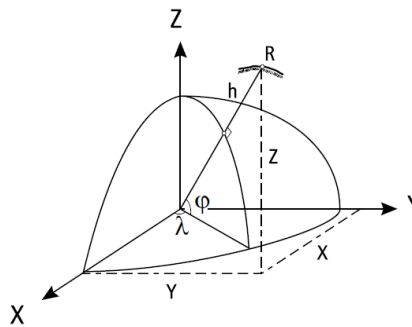
Para hacer el cálculo deberemos hacer una transformación de coordenadas cartesianas a coordenadas GPS. La referencia de este sistema es el World Geodetic System 1984 (WGS84).

Partimos de las siguientes constantes :

$$WGS84A = 6378137$$

$$WGS84B = WGS84A * \left(1 - \frac{1}{298.257223563}\right) = 6356752.31424518$$

$$WGS84e = \sqrt{\frac{WGS84A^2 - WGS84B^2}{WGS84A^2}} = 0.08181919093$$



$$WGS84ePrima = \sqrt{\frac{WGS84A^2 - WGS84B^2}{WGS84B^2}} = 0.082094437949$$

La conversión entre los dos sistemas de referencia (LLA a ECEF) se ejecuta usando las siguientes formulas, donde :

$\phi = \text{latitud}$

$\lambda = \text{longitud}$

$h = \text{altura}$

$$N(r \text{ curvatura}) = \frac{WGS84A}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi}}$$

- $X = (N + h) \cos \phi \cos \lambda$
- $Y = (N + h) \cos \phi \sin \lambda$
- $Z = \left(\frac{WGS84B^2}{WGS84A^2} + h \right) \sin \phi$

Finalmente se procede a calcular la distancia y el azimut:

$$\text{norte} = X - X_{\text{antena}} = 4837734,505453295 - 4851588,144630526 = -13853,63887$$

$$\text{este} = Y - Y_{\text{antena}} = 326720,114846469 - 294402,14659199671 = 32317,963901$$

$$\text{vertical} = Z - Z_{\text{antena}} = 4148508,00063 - 4117067,5705 = 31440,43013$$

$$\text{distancia (NM)} = \sqrt{\text{norte}^2 + \text{este}^2 + \text{vertical}^2} = 47.168,57796 \text{ NM}$$

$$\text{distancia (m)} = \text{Distancia(NM)} * 1852 = 87.356.206,38192 \text{ m}$$

$$\text{azimut} = (\tan^{-1}(\frac{\text{este}}{\text{norte}}))^2 = 4.30^\circ$$

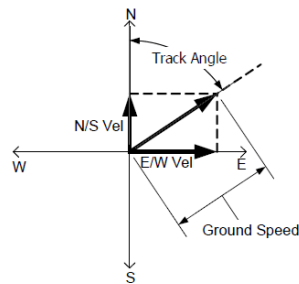
4.5.3.2 Decodificación de la velocidad

El tipo de Squitter que contiene la velocidad es el “Airborne Velocity”, este tiene cuatro subtipos, según el subtipo que se reciba se procesará la velocidad de una forma u otra. Si se recibe el subtipo 1 y 2, la velocidad viene dada en los campos “North/South Velocity” y “East/West Velocity” con un bit de sentido para cada uno de los campos. Si el subtipo recibido es el 3 o el 4, vendrá dada en los campos “Airspeed” y “Heading”, Sin embargo, en la norma ASTERIX Categoría 021 el formato requerido para la velocidad es “Ground Speed”, “Track Angle”, “Airspeed” y “Heading”. Según la norma ED-129, para pasar de un formato a otro, se deben realizar los siguientes cálculos:

Si se ha recibido el subtipo 1 o 2, se enviará en ASTERIX el “Ground Speed” y “Track angle” para ello hay que realizar la siguiente conversión:

$$Ground\ Speed = \sqrt{Velocidad\ Norte/Sur^2 + Velocidad\ Este/Oeste^2}$$

$$Track\ Angle = \cos^{-1}\left(\frac{Velocidad\ Norte/Sur}{Ground\ Speed}\right) * \left(\frac{180}{\pi}\right)$$



En cambio sí se ha recibido el subtipo 3 o 4 se envía el “Airspeed” y “Heading”.

4.5.3.3 Identificación de vuelo

A partir del mensaje "Identification and Category" recibido se obtendrá el tipo de emisor y el plan de vuelo que se envía en ASTERIX.

Para determinar el tipo de emisor se tiene en cuenta la siguiente tabla:

Coding (Decimal)	Meaning
0	No Emitter Category Information Available
1	Light (<15500 lbs.)
2	Reserved for Future Growth
3	Small (15500 to 75000 lbs.)
4	Reserved for Future Growth
5	Large (75000 to 300000 lbs.)
6	High-Vortex Large (aircraft such as B-757)
7	Heavy (>300000 lbs.)
8	High Performance (>5 g acceleration <i>and</i> >400 knots)
9	Reserved for Future Growth
10	Rotorcraft
11	Glider / Sailplane
12	Lighter - than - Air
13	Unmanned Aerial Vehicle
14	Space / Trans-atmospheric Vehicle
15	Ultralight / hang-glider / paraglider
16	Parachutist / Skydiver
17	Reserved for Future Growth
18	Reserved for Future Growth
19	Reserved for Future Growth
20	Surface Vehicle - Emergency Vehicle
21	Surface Vehicle - Service Vehicle
22	Point Obstacle (includes Tethered Ballons)
23	Cluster Obstacle
24	Line Obstacle
25 through 31	Reserved for Future Growth

Imagen 11 Tabla Tipo Emisor. Norma DO-260B

El plan de vuelo se decodificará usando los 6 bit recogidos en el bds a partir de la siguiente tabla.

				B6	0	0	1	1
				B5	0	1	0	1
B4	B3	B2	B1					
0	0	0	0			P	SPACE	0
0	0	0	1		A	Q		1
0	0	1	0		B	R		2
0	0	1	1		C	S		3
0	1	0	0		D	T		4
0	1	0	1		E	U		5
0	1	1	0		F	V		6
0	1	1	1		G	W		7
1	0	0	0		H	X		8
1	0	0	1		I	Y		9
1	0	1	0		J	Z		
1	0	1	1		K			
1	1	0	0		L			
1	1	0	1		M			
1	1	1	0		N			
1	1	1	1		O			

Imagen 12- Tabla de decodificación del plan de vuelo. Norma DO-260B

4.5.4 Gestión de la lista de blancos

La gestión de los blancos se realiza mediante una lista doblemente enlazada, es decir, cada nodo de la lista está enlazado mediante punteros de memoria al miembro anterior y al siguiente. La ordenación de la misma se efectúa mediante la dirección anunciada.

4.5.4.1 Inserción de blanco

Esta rutina es llamada siempre que el blanco asociado al *squitter* recibido de las respuestas de la FPGA no se haya recibido con anterioridad y haya superado los filtros explicados anteriormente en la fase de inicialización del blanco. Para ello se cuenta con el identificador del blanco (AA) como elemento diferenciador.

Se recorre la lista de blancos uno a uno para saber dónde va a ubicarse el nuevo blanco para tenerlos en orden según la dirección anunciada.

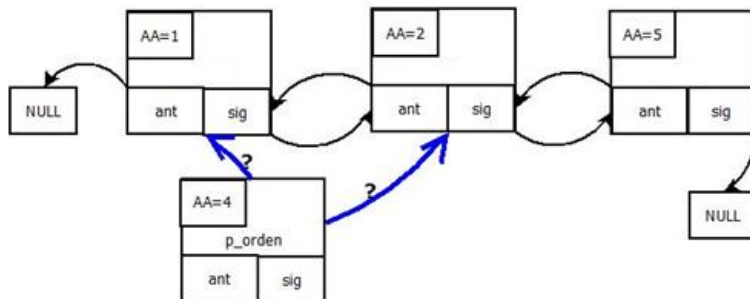


Fig 11- Búsqueda de ubicación

Una vez encontrado el sitio adecuado, se reubican las direcciones a las que apuntan los punteros de los nodos afectados, que no son más que el anterior y el siguiente a donde se va a ubicar, cortando la conexión entre ellos y añadiendo además dos punteros más del nuevo miembro de la lista a estos dos anteriores como se muestra en la figura.

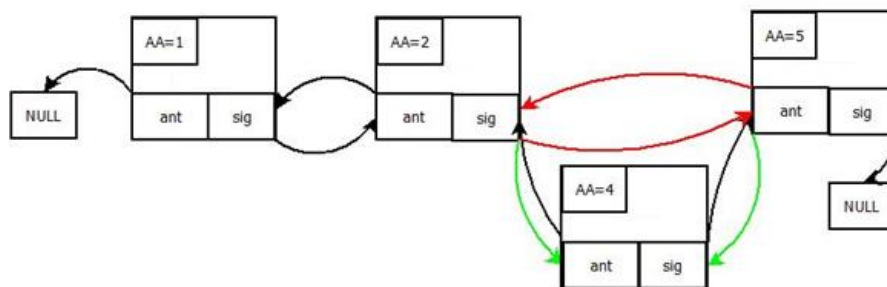


Fig. 12.- Inserción del Blanco

4.5.4.2 Borrado de blanco

Cada segundo se recorre la lista comprobando si algún blanco debe ser borrado, esto ocurre cuando el blanco lleva 120 segundos sin recibir ningún mensaje de posición.

El proceso consiste en cambiar los punteros de los elementos colindantes para enlazarlos entre si y poner a NULL los punteros del elemento a eliminar.

Posteriormente se deberá liberar ese espacio en memoria.

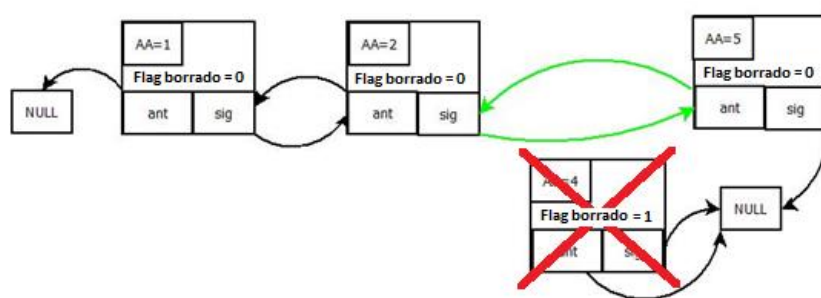


Fig. 13 Borrado de Blanco

4.5.4.3 Actualización de blanco

Cada vez que se recibe un mensaje se comprueba si el blanco correspondiente está en la lista, si está y ha pasado el filtro indicado anteriormente en la fase de mantenimiento del blanco, se realizan los cálculos necesarios dependiendo del tipo de mensaje que sea y se actualizan los datos de ese blanco de la lista.

4.5.5 Temporizadores

Según la norma ED-129 existen campos del formato ASTERIX tienen un tiempo de expiración asociado que si se sobrepasa esa información deja de ser válida y hay que borrarla. Hay campos cuya validez expira a los 10 segundos, otros a los 24 y otros a los 100. Además tal y como ya se ha mencionado anteriormente, el blanco tiene un periodo de validez de 120 segundos, en los que si transcurrido este tiempo no se ha recibido ningún mensaje de posición se borra el blanco entero, a diferencia de los que se acaban de comentar que sólo se borra ese campo de información.

Por lo tanto se han creado unos contadores de actualización asociados a estos campos y uno general, cuando se crea el blanco o cuando se actualiza dicho campo, el contador se pone a su máximo valor, es decir, 10, 24, 100 o 120 segundos.

Cada segundo se recorre la lista descontando uno a cada contador y comprobando si alguno está a cero. En el caso de que fuera así, se borraría esa información y si es el contador general el que está a cero se procedería a eliminar ese blanco de la lista como ya se ha explicado.

4.5.6 Envío del blanco

La forma en la que se envían los blancos al PowerPC es “Event-Driven”, es decir, cada vez que un mensaje es procesado se envía al PowerPC toda la información de ese blanco. La forma en la que se realiza el envío es escribiendo el blanco correspondiente y un índice de escritura en la zona de memoria PCI que comparten el DSP y PowerPC.

4.5.7 BITE (Built-in Test Equipment)

Es un sistema interno de comprobación del funcionamiento. Es información son datos necesarios para conocer el estado del equipo y datos que permiten la depuración. Esta información recogida se envía al PowerPC para que pueda mostrar en el terminal de mantenimiento.

El BITE recoge información sobre:

- Datos de estado del dsp
- Contadores de mensajes Extended Squitters por tipo
- Número de mensajes descartados por no cumplir condiciones en la decodificación de la posición
- Número de blancos formados y numero de blancos eliminados
- Número de blancos con la norma 260, 260A y 260B
- Desbordamiento de datos en el blanco
- Fallos de FPGA
- Fallos de comunicaciones
- Fallo total del sistema
- Porcentajes de carga y memoria usada

4.6 POWER PC

El PowerPC se comparte con el interrogador. Es el encargado de reportar los blancos al sistema de representación radar, de recibir los controles procedentes del terminal de mantenimiento y enviárselos al DSP para que modifique su funcionamiento según indiquen los controles introducidos y de reportar el estado del equipo por medio del BITE.

El PowerPC también es el encargado de rellenar unos campos de ASTERIX de los blancos en los que se indican los estampados de tiempo de la recepción de los mensajes de posición y velocidad. Además del campo que debe contener la hora de transmisión del mensaje ASTERIX.

En el DSP no se pueden hacer los estampados de tiempo ya que el DSP no dispone de hora local mientras que el PowerPC sí.

Para el caso de la hora de transmisión no hay problema, pero a la hora de rellenar los campos de las horas de recepción de los mensajes sí que lo es, ya que no sería cierto si se rellenase en ese instante con la hora actual. Por lo que la FPGA al mandar los bloques de Squitters manda asociada a cada mensaje de posición o velocidad la hora de recepción en ticks de reloj. Al mandar del DSP la información de cada blanco al PowerPC también se le envía esta información para que en el PowerPC se pueda realizar la conversión de ticks de reloj.

4.6.1 **Comunicaciones PowerPC**

El PowerPC tiene un módulo de comunicaciones en el que se gestiona tanto la comunicación con el DSP como con el terminal de mantenimiento.

4.6.1.1 Comunicación PowerPC-DSP:

Comunicación del DSP al PowerPC:

El DSP le envía al PowerPC la información de BITE y los blancos detectados. El DSP escribe en la zona de memoria, que comparten en DPS y el PowerPC, estos datos y un índice de escritura para que el PowerPC sepa el número de blancos que debe leer y un flag que indica si hay información de BITE pendiente de leer o no.

En el PowerPC se ha hecho una tarea para la recepción del BITE y otra para los blancos.

La tarea de recepción del BITE está constantemente comprobando si el flag que modifica el DSP para indicar que hay información de BITE pendiente de procesar se ha activado. En caso afirmativo, leerá esa parte de la memoria

compartida y la enviará al terminal de mantenimiento. En el caso contrario, seguirá comprobando el flag.

En el PowerPC existe un índice de lectura para la tarea de recepción de blancos. Esta tarea estará continuamente comprobando que este índice de lectura y el índice de escritura que modifica el DSP al escribir los blancos en la memoria sean iguales. Mientras que sea así, esta tarea no hará nada más. En el caso de que sean distintos el PowerPC lee los blancos que se han escrito en la memoria y los procesa hasta que los índices coincidan.

Comunicación del PowerPC al DSP:

El PowerPC le envía al DSP los controles que el usuario ha mandado desde el terminal de mantenimiento para modificar el funcionamiento del DSP. El envío se produce de la misma forma que en el apartado anterior, es decir, el PowerPC escribe en la memoria compartida por ambos pero en este caso no hay ningún flag ni índice de lectura sino que le indica al DSP que tiene información pendiente por medio de una interrupción. Así el DSP leerá la información y lo procesará para modificar su funcionamiento acorde a los controles enviados por el usuario.

4.6.1.2 Comunicación con el terminal de mantenimiento:

La comunicación del PowerPC con el terminal de mantenimiento se realiza a través de Ethernet y permite ver los blancos en la pantalla, ver la información de BITE con los fallos del sistema, y que el usuario pueda modificar los controles según quiera modificar el funcionamiento del DSP.

Esta comunicación será redundante a través de las dos salidas Eth0 y Eth1 de la DSP6 y el protocolo del transporte será UDP Multicast.

5. PRUEBAS

En este apartado se van a realizar una serie de pruebas para comprobar el correcto funcionamiento del ADS-B utilizando blancos reales para unas y un simulador de blancos para otras, explicando por qué se han elegido esas y mostrando los resultados obtenidos.

Para comprobar la precisión en la posición de los blancos procesados, la correcta codificación en ASTERIX y el análisis de los datos que recibe se ha usado el simulador de escenarios de aeronaves, ya que no se podía hacer con blancos reales por no disponer de la información real que envían éstas.

Para verificar que el ADS-B es capaz de procesar 300 blancos también se ha hecho con el generador de escenarios dado que era imposible la realización de la prueba con 300 aeronaves o vehículos terrestres reales.

Por último para confirmar el correcto funcionamiento del sistema completo se ha probado con blancos reales.

A continuación, se describe el equipamiento necesario para los dos tipos de pruebas, es decir, con simulador y con blancos reales, la metodología usada para cada caso y los resultados.

5.1 PRUEBAS CON SIMULADOR DE ESCENARIOS:

EQUIPAMIENTO:

Para realizar las pruebas se necesita:

- Equipo interrogador-Receptor ADS-B.
- Equipo de simulación RASS-S (Radar Analysis Support System for Sites). El RASS-S de Intersoft Electronics es un sistema de verificación del funcionamiento de radares mediante la generación de escenarios de blancos que está certificado por EUROCONTROL.

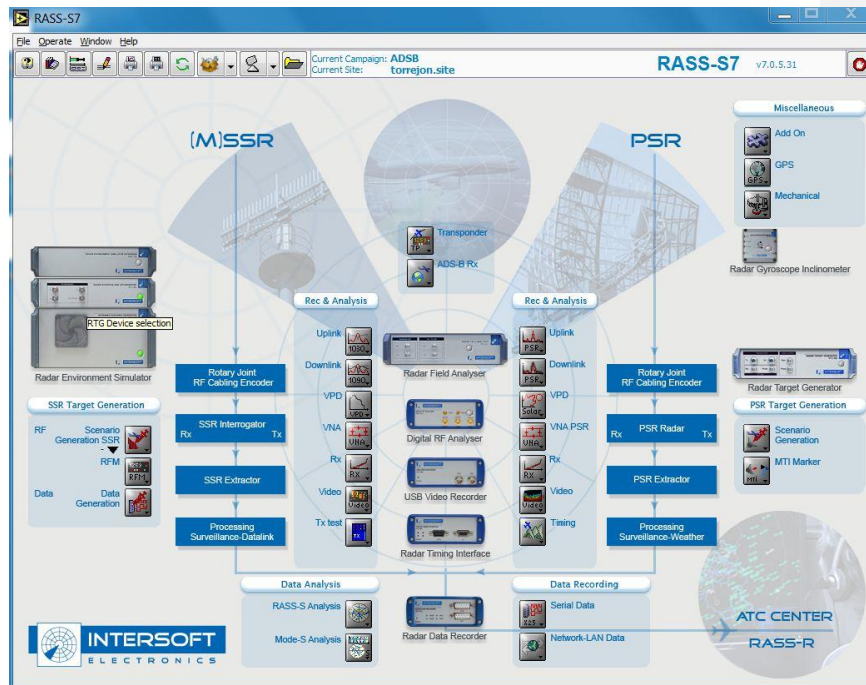


Imagen 12 Programa RASS-S

- PC para RASS-S
- PC para terminal de mantenimiento
- Analizador para protocolos de red Wireshark

METODOLOGÍA:

Se realiza el siguiente conexionado:

- Se conecta un PC al RASS-S
- El RASS-S se conecta a la entrada de la antena omnidireccional del interrogador
- Se conecta un PC con el terminal de mantenimiento al equipo interrogador-receptor ADS-B

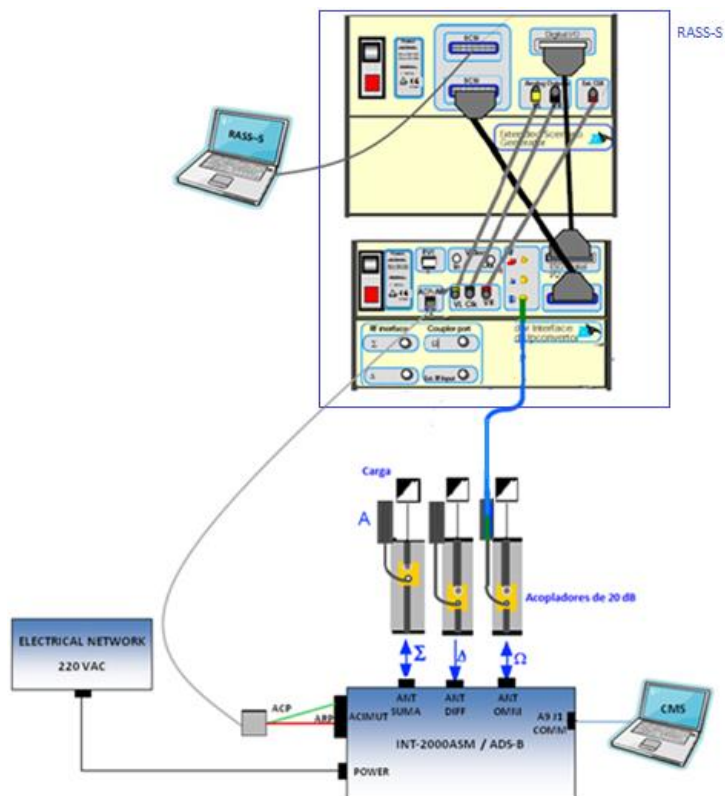


Imagen 13- Esquema metodológico

- Se configura el escenario añadiendo aeronave por aeronave e indicando la posición inicial, su trayectoria, el tipo de aeronave, datos de la misma y los tipos de mensajes ADS-B que va a enviar.

5.1.1 ESCENARIO 1:

Para comprobar la precisión de la posición de los blancos se ha creado un escenario con cinco blancos fijos. El motivo por el que son fijos se debe a que para cada aeronave se indica la posición inicial y su trayectoria, por lo que para saber la posición exacta en un instante determinado es más complicado que si están fijos.

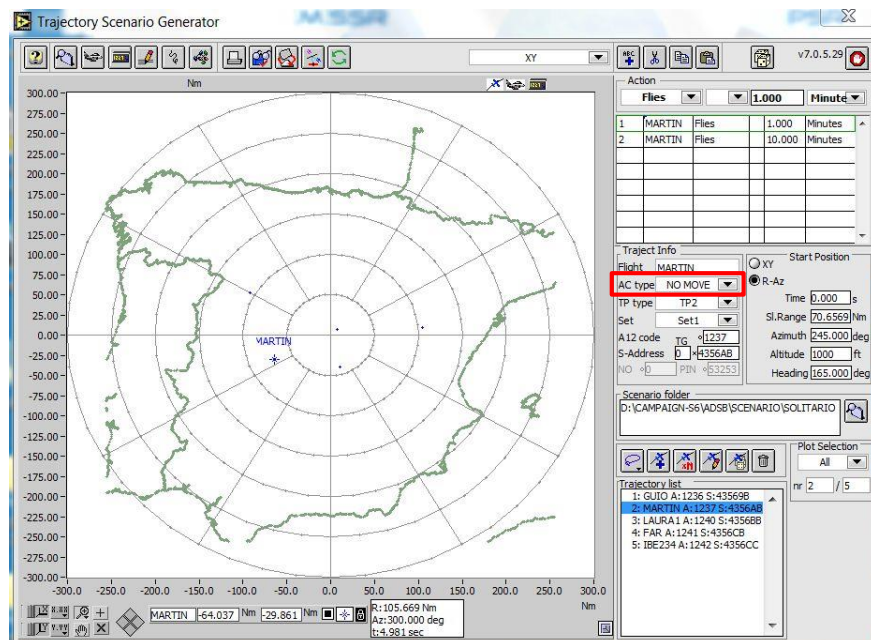


Imagen 14- Generación Escenario 1

Tal y como se observa en la figura de arriba se han generado cinco blancos fijos, pero se va a concretar el procedimiento para la aeronave con el plan de vuelo MARTIN:

La localización de la antena del interrogador es la siguiente:

Latitud: 40.455278°
 Longitud: -3.471667°
 Altura: 600 m

La posición del blanco MARTIN es:

Distancia: 70.6569NM
 Azimut: 245°
 Altitud: 1000 ft

Imagen 15 – Característica del Vuelo

Una vez que se ha terminado de configurar el escenario, se le da al botón “Play” y el RASS-S comienza la simulación, las señales creadas por el RASS-S llegan al ADS-B por medio de la entrada de la antena omnidireccional del interrogador, el ADS-B procesa los blancos y los envía por Ethernet al terminal de mantenimiento donde se deberá ver el mismo escenario que se ha generado mediante el RASS-S con todos los datos correspondientes a cada aeronave. Por medio del programa Wireshark podemos comprobar el flujo de mensajes al terminal. Además el Wireshark tiene un plugin de ASTERIX Cat 021 por lo que puede decodificar los mensajes y así ver también detalladamente la información.

Con el Wireshark se han obtenido los siguientes datos:

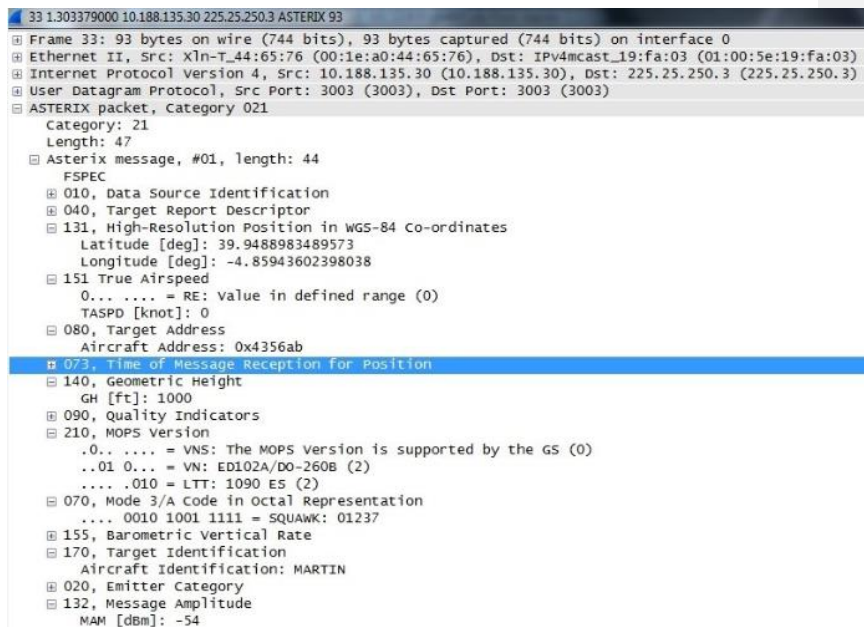


Imagen 16 –Captura Wireshark

Donde podemos ver que la latitud es 39.9488983489573°, la longitud -4.85943602398038° y la altitud 1000 ft.

Mediante una herramienta del RASS-S podemos pasar las coordenadas geodésicas a polares:

Pero primero tenemos que pasar la altitud a metros:

- 1000ft = 304,80m
- 600ft = 182,880m

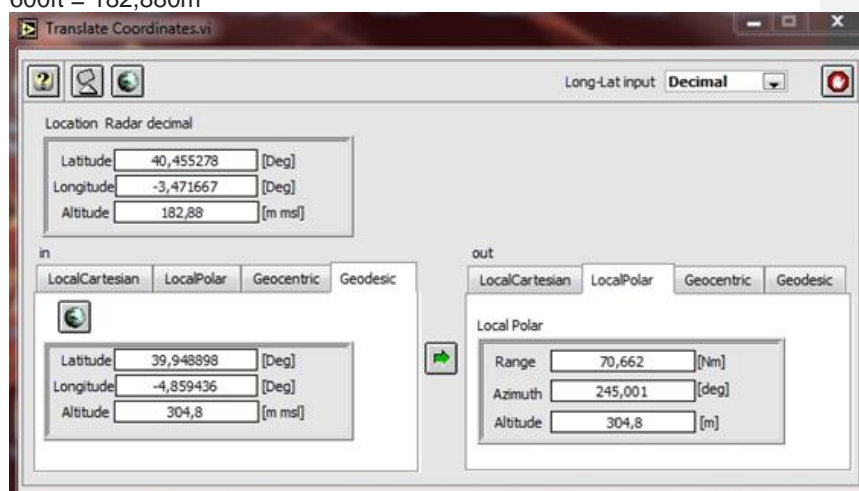


Imagen 17 – Conversión Coordenadas

	Distancia (NM)	Azimuth (°)	Altitud (m)
Datos de entrada RASS-S	70,6569	245,000	304,8
Datos de salida ADS-B	70,662	245,001	304,8
Error	0,0051	0,001	0,0

Tabla 4 - Resultados

Según los requisitos mencionados en el capítulo 2, para dar cómo válida una posición el error en distancia debe ser menor de $\pm 0,02\text{NM}$, en azimuth $\pm 0,1^\circ$ y en altitud 30m.

Se han repetido estas pruebas y se ha hecho un análisis estadístico con resultados.

- El error medio cometido en la posición es:

	Requisito	Resultado obtenido
Distancia	$\pm 0,2 \text{ NM}$	$\pm 0,06 \text{ NM}$
Acimut	$\pm 0,1^\circ$	$\pm 0.002^\circ$

Altitud	$\pm 30 \text{ m}$	$\pm 0,01\text{m}$
---------	--------------------	--------------------

Tabla 5 – Error Medio de la Posición

Aunque en la tabla se muestra el error medio, en ninguna de las pruebas se superó el error que hay como requisito.

Se puede concluir que se cumple el criterio con una precisión mucho mayor a la esperada.

5.1.2 ESCENARIO 2:

El objetivo de este segundo escenario es demostrar que los datos se han codificado en ASTERIX correctamente. Para ello se ha creado un escenario de 150 blancos móviles.

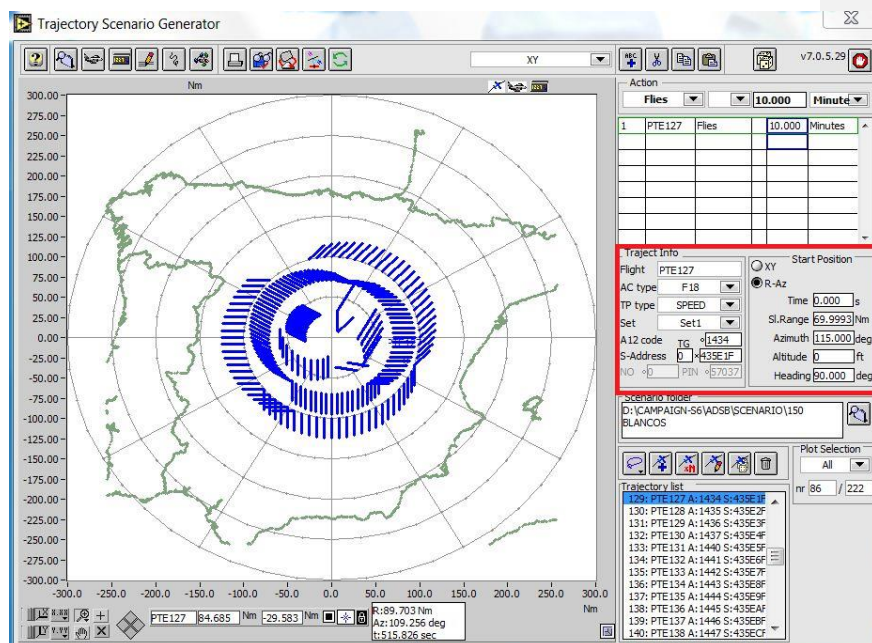


Imagen 18 – Generación Escenario 2

Se configuran las características de cada aeronave:

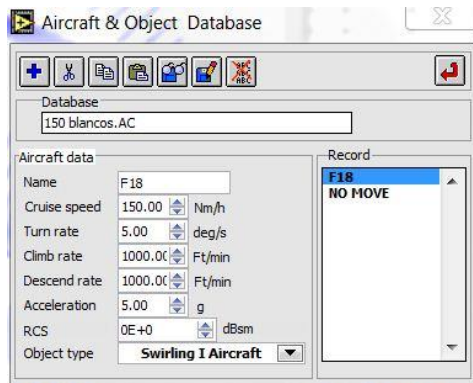


Imagen 19- Características del vuelo

Los mensajes ADS-B que va a emitir el transpondedor con los datos correspondientes a cada uno de ellos:

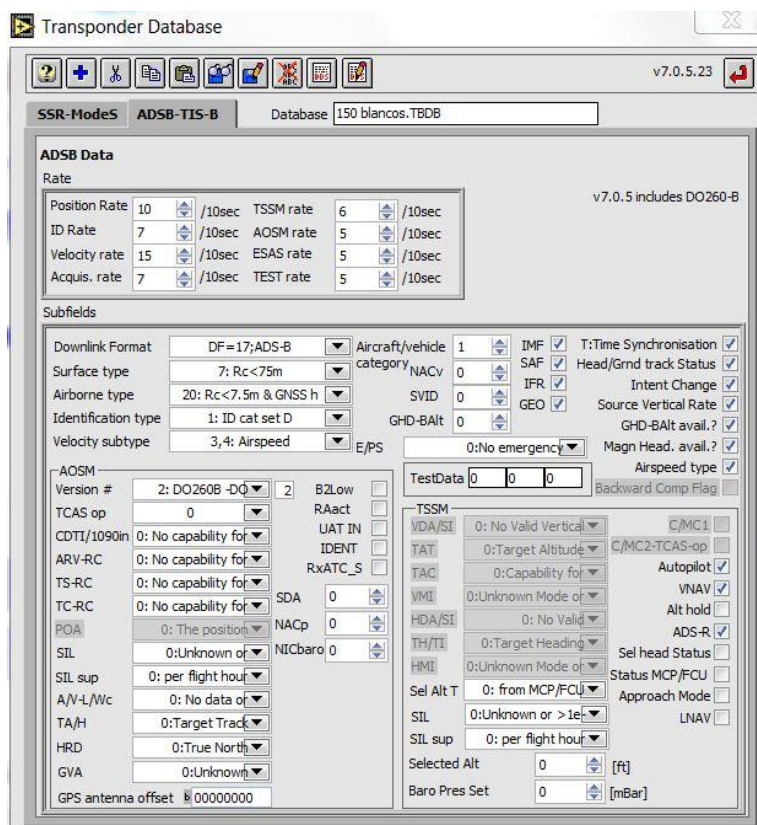


Imagen 20 – Generación Mensajes ADS-B

Con el Wireshark se ha podido comprobar el flujo de mensajes y los datos de cada uno de ellos:

The image shows a Wireshark capture window. The top pane displays a list of captured packets. The bottom pane shows the detailed view of the selected packet (No. 1286).

No.	Time	Source	Destination	Protocol	Length	Info
1212	53.0639490	10.188.135.30	225.25.250.3	ASTERIX	95	
1227	54.1529240	10.188.135.30	225.25.250.3	ASTERIX	93	
1228	54.2521440	10.188.135.30	225.25.250.3	ASTERIX	95	
1242	54.7963260	10.188.135.30	225.25.250.3	ASTERIX	93	
1250	54.9943060	10.188.135.30	225.25.250.3	ASTERIX	95	
1269	55.9853610	10.188.135.30	225.25.250.3	ASTERIX	93	
1277	56.3803390	10.188.135.30	225.25.250.3	ASTERIX	95	
1286	56.6773670	10.188.135.30	225.25.250.3	ASTERIX	93	

Frame 1286: 93 bytes on wire (744 bits), 93 bytes captured (744 bits) on interface 0

- Ethernet II, Src: Xln-T_44:65:76 (00:1e:a0:44:65:76), Dst: IPv4mcast_19:fa:03 (01:00:5e:19:fa:03)
- Internet Protocol Version 4, Src: 10.188.135.30 (10.188.135.30), Dst: 225.25.250.3 (225.25.250.3)
- User Datagram Protocol, Src Port: 3003 (3003), Dst Port: 3003 (3003)
- ASTERIX packet, Category 021
 - Category: 21
 - Length: 47
 - Asterix message, #01, length: 44
 - FSPEC
 - 010, Data Source Identification
 - 040, Target Report Descriptor
 - 131, High-Resolution Position in WGS-84 Co-ordinates
 - Latitude [deg]: 40.6539917550981
 - Longitude [deg]: -3.31463618203998
 - 151 True Airspeed
 - 0... .. = RE: value in defined range (0)
 - TASPD [knot]: 150
 - 080, Target Address
 - Aircraft Address: 0x43567b
 - 073, Time of Message Reception for Position
 - 140, Geometric Height
 - GH [ft]: 15000

Hex dump:

0000	01 00 5e 19 fa 03 00 1e	a0 44 65 76 08 00 45 00	..A....Dev..E..
0010	00 4b 98 2a 00 00 01 11	b4 80 0a bc 87 1e e1 19	..K.*.....
0020	fa 03 0b bb 0b bb 00 37	8e 65 15 00 2f c3 39 797.e...9y
0030	21 c1 20 00 00 04 0e 74	6a ab fe d2 4b 61 00 96	!.....t j...Ka..
0040	43 56 7b 02 23 4c 09 60	17 01 01 e9 12 02 9c 00	SV{.#L.....
0050	40 14 04 00 30 f2 10 00	41 0a b5 63 47	..A.....

Imagen 21 – Captura Wireshark

```

1286 56.677367000 10.188.135.30 225.25.250.3 ASTERIX 93
Frame 1286: 93 bytes on wire (744 bits), 93 bytes captured (744 bits) on interface 0
Ethernet II, Src: Xln-T.44:65:76 (00:1e:a0:44:65:76), Dst: IPv4mcast_19:fa:03 (01:00:5e:19:fa:03)
Internet Protocol Version 4, Src: 10.188.135.30 (10.188.135.30), Dst: 225.25.250.3 (225.25.250.3)
User Datagram Protocol, Src Port: 3003 (3003), Dst Port: 3003 (3003)
ASTERIX packet, Category 021
  Category: 21
  Length: 47
  Asterix message, #01, length: 44
    FSPEC
    010, Data Source Identification
    040, Target Report Descriptor
    131, High-Resolution Position in WGS-84 Co-ordinates
      Latitude [deg]: 40.6539917550981
      Longitude [deg]: -3.31463618203998
    151 True Airspeed
      0... .. = RE: Value in defined range (0)
      TASP [knot]: 150
    080, Target Address
      Aircraft Address: 0x43567b
    073, Time of Message Reception for Position
      [s]: 1094.594
    140, Geometric Height
      GH [ft]: 15000
    090, Quality Indicators
    210, MOPS Version
      0... .. = VNS: The MOPS version is supported by the GS (0)
      ..01 0... = VN: ED102A/D0-260B (2)
      .... 010 = LTT: 1090 ES (2)
    070, Mode 3/A Code in Octal Representation
      .... 0010 1001 1100 = SQUAWK: 01234
    155, Barometric Vertical Rate
      0... .. = RE: Value in defined range (0)
      BVR [ft/min]: 0
    170, Target Identification
      Aircraft Identification: AIS LOL
    020, Emitter Category
    132, Message Amplitude
      MAM [dBm]: -47
0010 00 4b 98 2a 00 00 01 11 b4 80 0a bc 87 1e e1 19 .K.*... ..
0020 fa 03 0b bb 0b bb 00 37 8e 65 15 00 2f c3 39 79 .....7.e...9y
0030 21 c1 20 00 00 04 0e 74 6a ab fe d2 4b 61 00 96 .....t...ka..
0040 43 56 7b 02 23 4c 09 60 17 01 01 e0 12 02 9c 00 ..V[. #L. ....
0050 00 04 94 e0 30 f3 20 00 d1 90 ba 61 47 .....0. ....ag

```

Imagen 22- Captura Wireshark

En el terminal de mantenimiento se debería de poder ver la misma imagen que en el simulador RASS-S y tal y como se muestra en la figura de abajo se puede comprobar que es la misma.

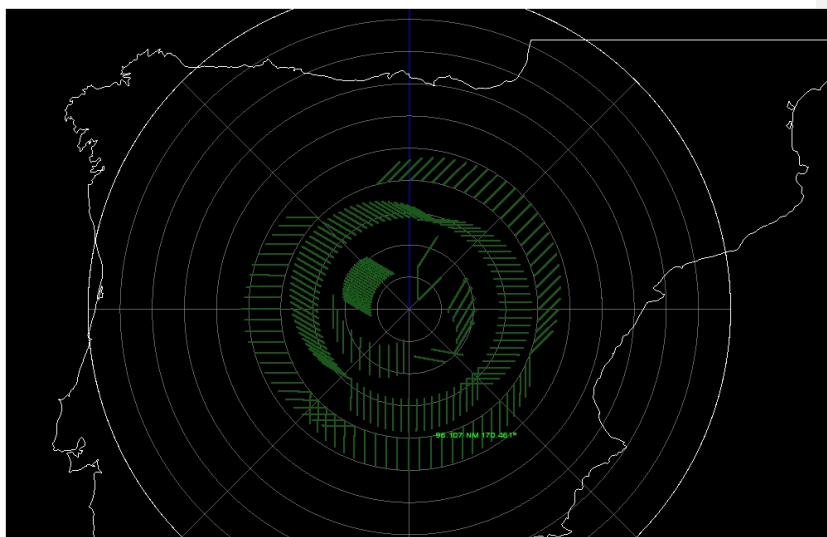


Imagen 23- Resultado Escenario 2

Todos los mensajes ASTERIX se han podido decodificar correctamente con el programa externo Wireshark por lo que se confirma la correcta codificación de los mensajes ASTERIX.

Al analizar los datos entrantes en el equipo de simulación con los datos salientes del ADS-B, se ha demostrado que son los mismos.

5.1.3 ESCENARIO 3:

Para demostrar que cumple con el requisito de procesar a máxima carga, se ha generado un escenario de 300 blancos móviles:

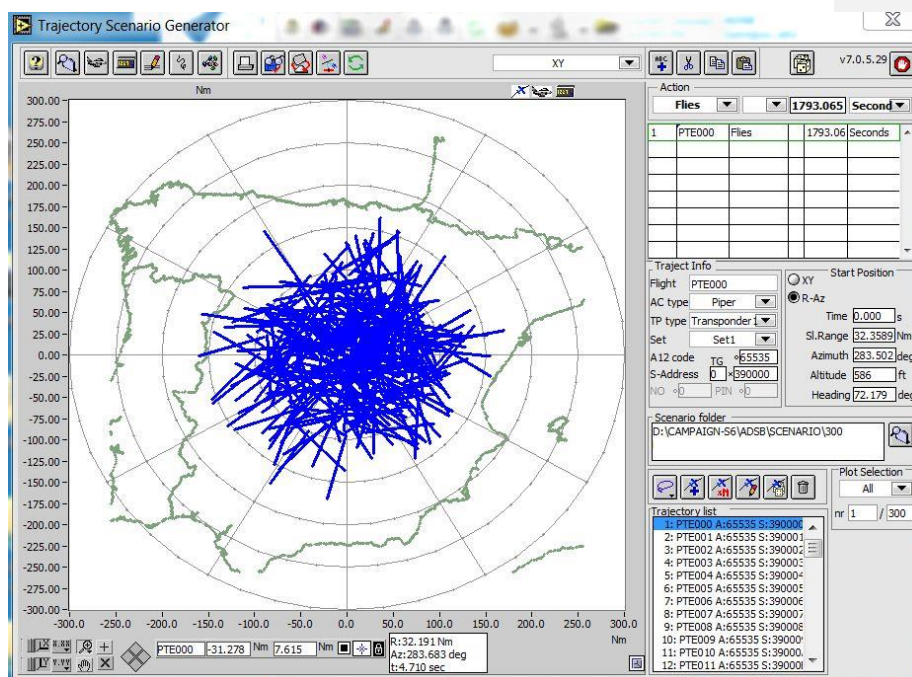


Imagen 24- Generación Escenario 3

En el terminal de mantenimiento se ha capturado esta imagen en la que se puede demostrar que el ADS-B tiene capacidad de procesar hasta 300 aeronaves a la vez.

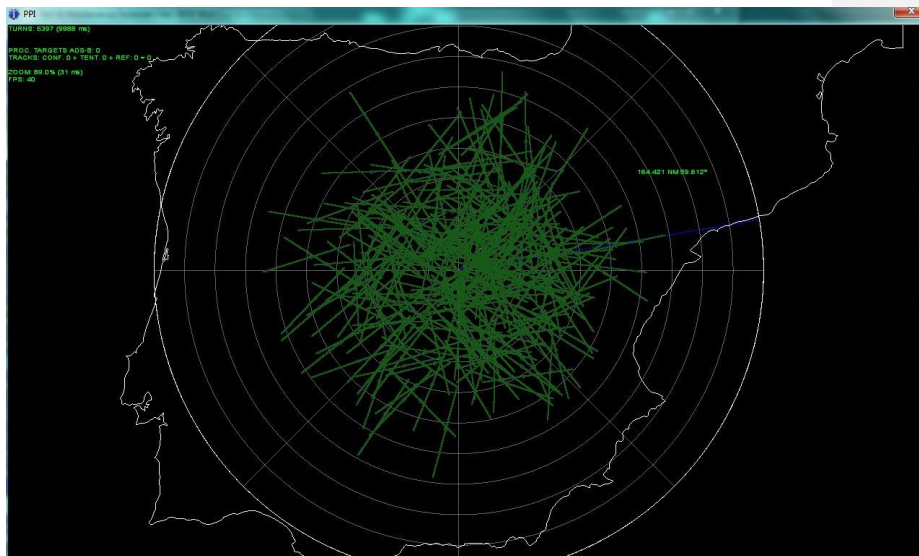


Imagen 25- Resultado Escenario 3

5.2 PRUEBAS CON TRÁFICO REAL:

Para verificar el correcto funcionamiento del sistema completo se han utilizado las aeronaves reales que había en ese momento.

EQUIPAMIENTO:

Para realizar las pruebas con tráfico real se necesita:

- Equipo interrogador-Receptor ADS-B
- Antena omnidireccional
- PC para terminal de mantenimiento

METODOLOGÍA:

Se realiza el siguiente conexionado:

- Se conecta la antena al equipo interrogador-receptor
- A éste se le conecta el terminal de mantenimiento

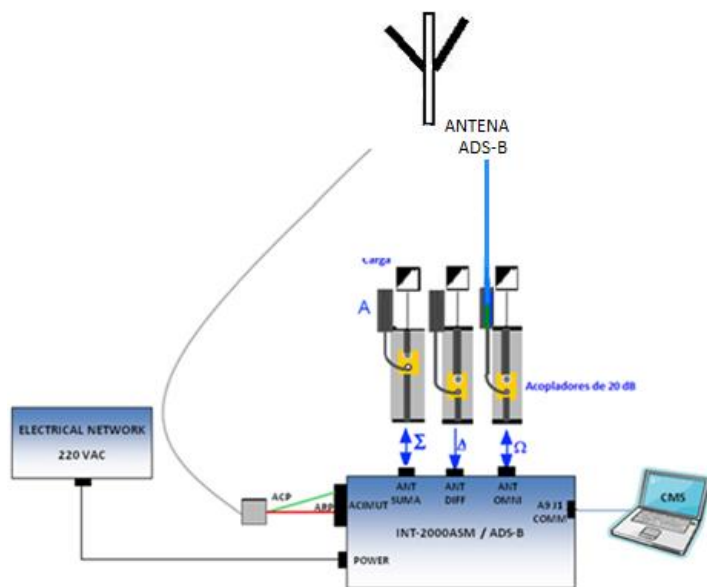
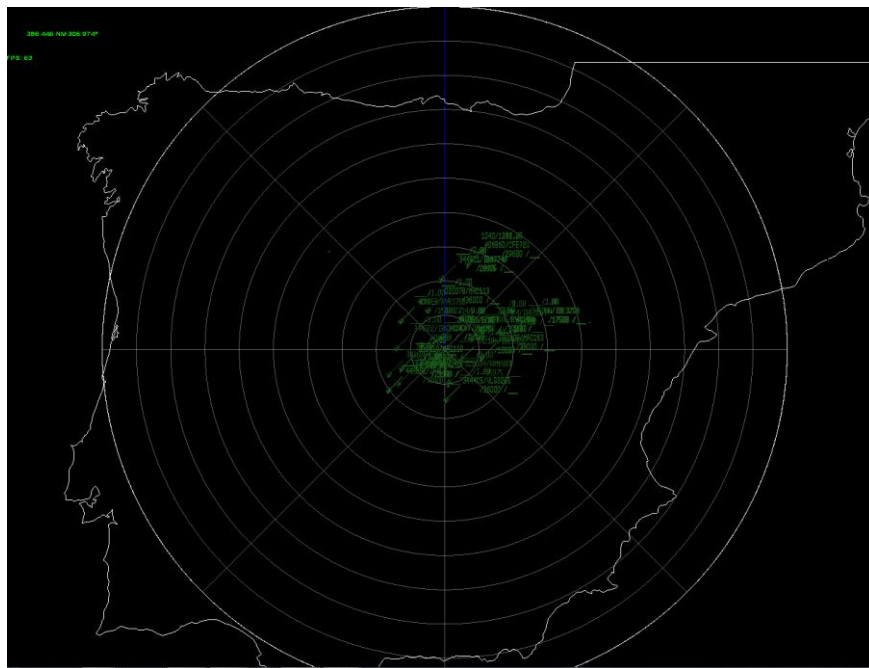


Imagen 26- Esquema metodológico

RESULTADOS:

En la siguiente imagen se puede observar el resultado obtenido teniendo en cuenta que las pruebas se realizaron en Torrejón de Ardoz.



Como se puede comprobar, se verifica el funcionamiento de la cadena completa.

6. CONCLUSION

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado era el desarrollo software de un receptor ADS-B.

Sin embargo, el ADS-B requiere que todas las aeronaves tengan el equipamiento necesario para transmitir su vector de posición, ya que sino el receptor ADS-B no será capaz de verlas. Hasta el 7 de Diciembre del 2017, en la zona de Eurocontrol, no será obligatorio que todas las aeronaves lo lleven implementado, por lo que se debe continuar utilizando Radares Secundarios de Vigilancia y el sistema ADS-B como apoyo.

El receptor ADS-B debía recibir los Extended Squitters, decodificarlos según la norma DO-260B, gestionar todos los blancos que haya en el espacio aéreo dentro del alcance de la antena, debiendo ser capaz de procesar hasta 300 blancos, actualizándolos según vayan llegando los squitters correspondientes a cada uno de los blancos y eliminando los que ya no se actualicen. Otro de los objetivos era codificar toda la información asociada a cada blanco en el formato Asterix Categoría 021, dado que es el estándar mundial para ATC y ATM, para que al recibirlos vía Ethernet en el terminal de mantenimiento puedan ser procesados y mostrados en la pantalla PPI.

Se ha realizado una serie de pruebas y se ha comprobado el correcto funcionamiento del sistema completo cumpliendo su objetivo de localización del tráfico aéreo para ATC.

7. FUTURAS LÍNEAS DE TRABAJO

En este apartado se van a explicar posibles futuras líneas de trabajo desde varios puntos de vista.

- Desde el punto de vista del desarrollo software de esta tarjeta, una posible línea de trabajo sería la implementación de aplicaciones militares mediante el procesado de Squitters de Modo 5, que es el equivalente militar al Modo S, puesto que se dispone de un DSP libre para su procesamiento y una interfaz para la conexión de una unidad criptológica.
- Desde el punto de vista de receptor terrestre una aplicación viable sería integrarlo en un sistema de multilateración. La multilateración se basa en el estratégico emplazamiento de varios receptores y/o interrogadores. Éstos captan los Squitters o respuestas y calculan la posición por medio de la intersección de múltiples parábolas o hiperboloides. Está basado en el principio de TDOA, en la diferencia de tiempo de llegada de las señales de los transpondedores a varias antenas receptoras.

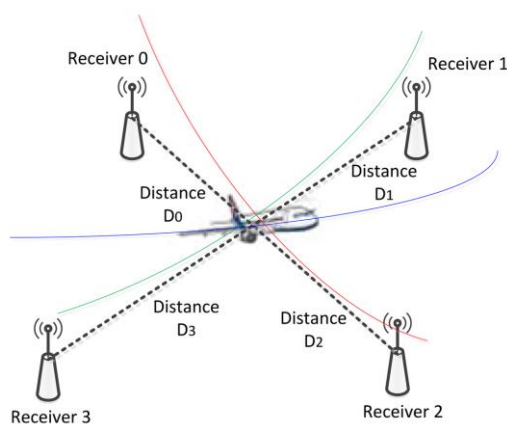


Imagen 28.- Sistema Multilateración

Por medio de los Squitters el sistema de multilateración será capaz de identificar a las aeronaves utilizando su dirección anunciada (AA). Debe establecerse una correlación con el plan de vuelo, para obtener o confirmar la identificación de la aeronave obtenida por el sistema de multilateración.

Otra posible línea de trabajo sería la transmisión por parte del receptor terrestre ADS-B de información TIS-B (Traffic Information Services-Broadcast).

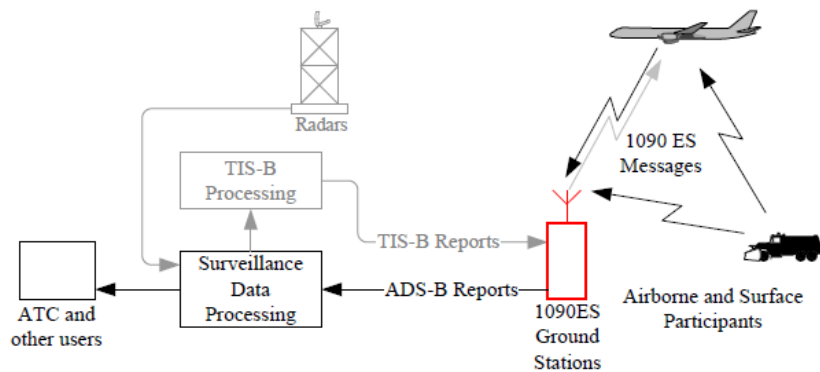


Imagen 29 –Receptor Terrestre ADS-B con Transmisión Mensajes TIS-B

Con el sistema ADS-B básico las aeronaves sólo se pueden localizar a otras que envíen mensajes ADS-B. Sin embargo, mediante la transmisión de los mensajes TIS-B por parte de las estaciones terrestres ADS-B sí que podrán hacerlo ya que contienen información del tráfico proveniente del ADS-B y de otras fuentes como puede ser un radar secundario.

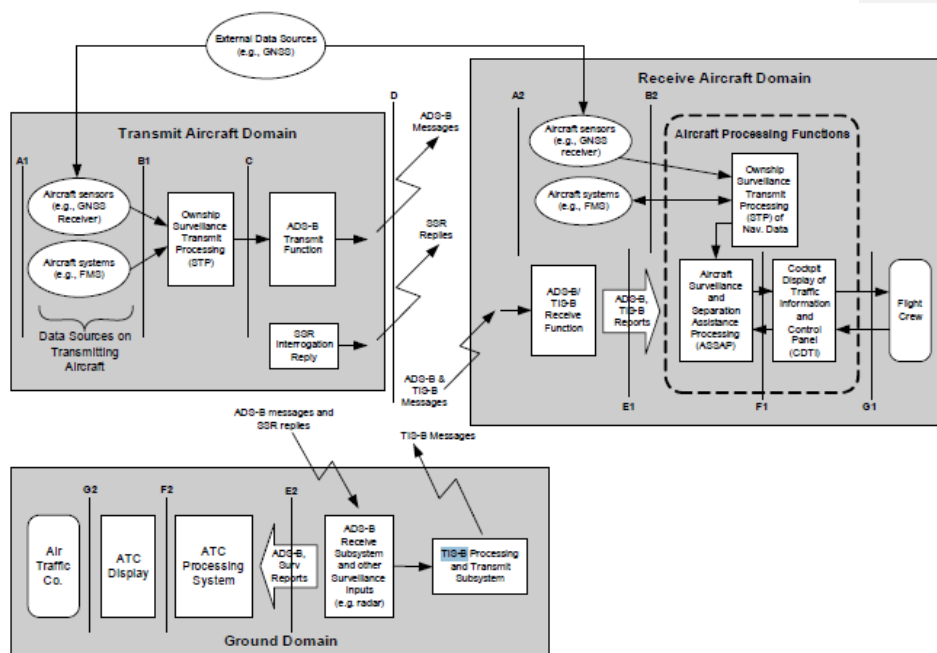


Imagen 30 – Diagrama de Bloques Receptor Terrestre ADS-B con Transmisión Mensajes TIS-B

- Desde el punto de vista de receptor ADS-B, una posible línea de trabajo sería integrarlo a bordo de un avión. Así el piloto podrá ver en una pantalla cockpit todo el tráfico aéreo que le rodea, haciendo que los vuelos sean mucho más seguros aunque haya poca visibilidad debido a las condiciones climáticas.

8. PRESUPUESTO Y PLANIFICACION

8.1 PLANIFICACION

Tareas

Fase 1: Planificación: 78 días

- Análisis de las normativas: 78 días
- Determinación de los requisitos y pruebas: 63 días

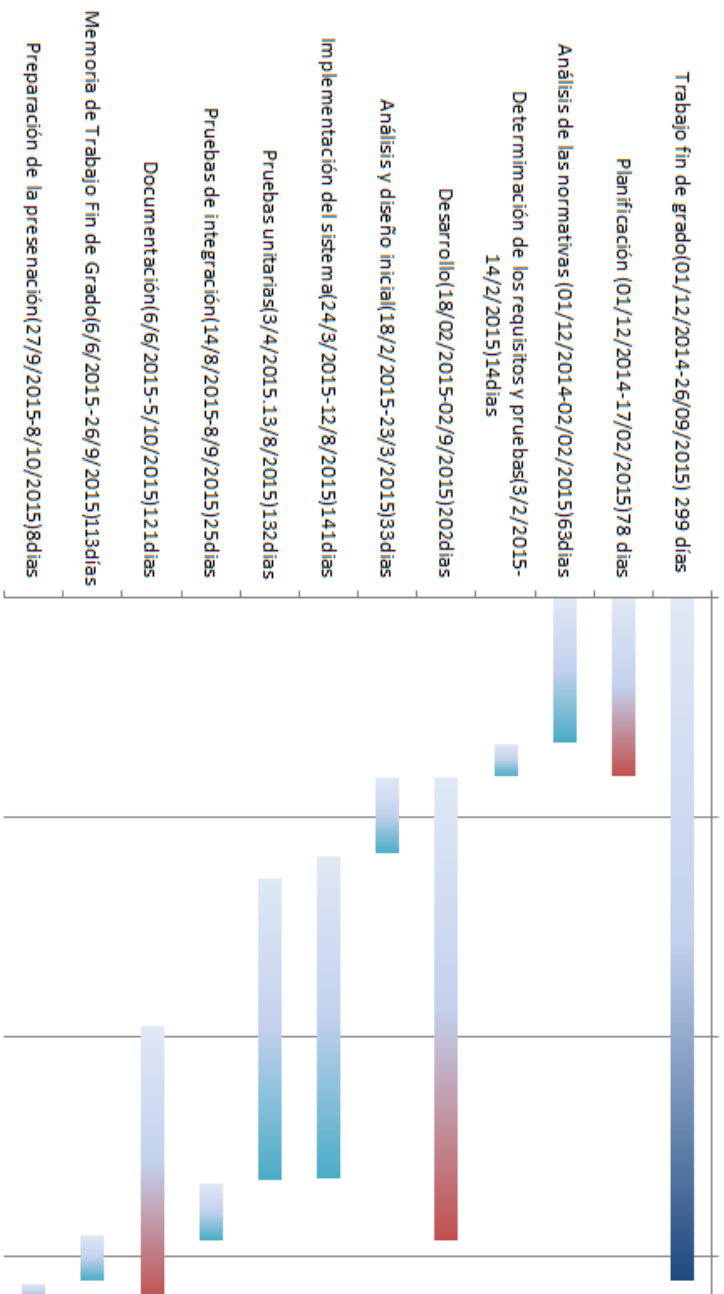
Fase 2: Desarrollo: 202 días

- Análisis y diseño inicial: 33 días
- Implementación del sistema: 141 días
- Pruebas unitarias: 132 días
- Pruebas de integración: 25 días

Fase 3: Documentación: 121 días

- Memoria de Trabajo de Fin de Grado: 113 días
- Preparación de la presentación: 8 días

Se va a explicar mediante el siguiente diagrama de Gantt la planificación que se ha seguido durante todo este proyecto.



8.2 PRESUPUESTO

El presupuesto necesario para llevar a cabo este proyecto se detalla en

8.2.1 Recursos

Recursos Hardware

- Equipo interrogador: 0€ (Proporcionado por el cliente)
- Ordenador portátil: 1,000€
- JTAG para depuración: 1,500€
- Alquiler RASS-S (100 horas): 2,600€

Recursos Software:

- Compilador Code Composer + licencia: 1,750€
- Compilador Windriver Workbench + licencia: 6,000€
- Wireshark: 0€
- Terminal de mantenimiento: 0 € (Desarrollado por INDRA)
- Paquete Microsoft Office 2010: 220€

Normativa:

- DO-260B: 290€
- ED-129: 210€
- ASTERIX Categoría 021: 0€

Recursos humanos

- Ingeniero gestión técnica/configuración/integración:

150horas *40€/hora = 7,500€

- 2 ingenieros para desarrollo:

900 horas *22.5€/hora =20.250€ por ingeniero

COSTES DE PERSONAL		
Ingeniero jefe proyecto	150horas*40€/hora	7,500 €
2 Ingenieros Desarrollo	900horas *22.5€/hora =20.250€ *2	40,500 €
TOTAL COSTES DE PERSONAL		48,000 €
COSTES DE MATERIAL		
Equipo interrogador	Proporcionado por el cliente	0 €
PC	1,000 €	1,000 €
Compilador Code Composer + licencia	1.750€	1,750 €
JTAG para depuración	1,500 €	1,500 €
Wireshark	Gratuito	0 €
Terminal de mantenimiento	Desarrollado por INDRA	0 €
Firmware FPGA	Desarrollado por INDRA	0 €
Norma DO-260B	290€	290€
Norma ED-129	210€	210€
Norma ASTERIX Cat 021	Gratuito	0 €
Compilador Windriver Workbench + licencia	6,000 €	6,000 €
Alquiler RASS-S (100 h pruebas)	2,600 €	2,600 €
TOTAL COSTES DE MATERIAL		13,350€
TOTAL		61.350 €

BIBLIOGRAFIA

1. Norma ED-129
2. Norma RTCA DO 260-B
3. Asterix Categoría 0121
4. Documentación interna INDRA
5. <http://www.eurocontrol.int/asterix> (Diciembre-2014)
6. www.windriver.com (Marzo 2015)
7. <http://www.ti.com/tool/ccstudio> (Febrero 2015)
8. <http://www.airwashington.org/wp-content/uploads/2013/12/Mode-S.pdf> (Junio 2015)
9. <http://www.radartutorial.eu/01.basics/Direction-determination.en.html> (Junio 2015)
10. <http://www.enaire.es/csee/Satellite/SeguridadOperacionalNA/es/Page/1237551632185/1228215409288/> (Julio 2015)
11. https://es.wikipedia.org/wiki/Radar_meteorol%C3%B3gico (Julio 2015)
12. <http://www.airwaysmuseum.com/Surveillance.htm> (Julio 2015)
13. <http://www.indracompany.com/noticia/indra-desplegara-en-mongolia-sus-sistemas-ads-b-de-vigilancia-del-espacio-aereo> (Julio 2015)
14. https://en.wikipedia.org/wiki/Airborne_collision_avoidance_system (Agosto 2015)
15. http://www.propilotmag.com/archives/2011/Dec%2011/A3_ADS-B_p1.html (Agosto 2015)
16. http://www.icao.int/Meetings/AMC/MA/2005/ADSB_SITF4/sp01.pdf (Agosto 2015)
17. <http://www.skyradar.net/skyradar-system/adsbtechnology.html> (Agosto 2015)
18. <http://www.radartutorial.eu/13.ssr/sr24.en.html> (Agosto 2015)
19. www.indracompany.com/.../16_MLAT_Brochure_V1_11-2009_esp.pdf (Agosto 2015)
20. <https://www.telinstrument.com/avionics-news/industry-articles/101-iff-and-mode-5-past-present-and-future.html> (Septiembre 2015)
21. Richards, William R; O'Brien, Kathleen; Miller, Dean C (2010). "New Air Traffic Surveillance Technology" (Agosto 2015)
22. ICAO (2012). *ICAO Doc 9871, Technical Provisions for Mode S and Extended Squitter* (Diciembre 2014)
23. "Multilateration: Airport Surface". ERA a.s.. Retrieved 2013-04-30. (Septiembre 2015)

ANEXO I: FORMATO EXTENDED SQUITTERS ADS-B

8.3 BDS 05. AIRBORNE POSITION

1		Purpose: To provide accurate airborne position information.
2		
3	FORMAT TYPE CODE	
4	(§A.1.4.1)	
5		Surveillance Status Coding
6		0 = no condition information
7	SURVEILLANCE STATUS	1 = permanent alert (emergency condition)
8		2 = temporary alert (change in Mode A identity code other
9	NIC SUPPLEMENT-B (§A.1.4.2.5)	than emergency condition
10		3 = SPI condition
11	ALTITUDE	Codes 1 and 2 take precedence over code 3.
12	Specified by the Format TYPE Code	
13		
14	(1) the altitude code (AC) as specified in §2.2.13.1.2 of	Note: When horizontal position information is
15	DO-181D (EUROCAE ED-73C §3.17.1.b), but with	unavailable, but altitude information is
16	the M-bit removed (Ref ARINC 429 Label 203), or	available, the Airborne Position Message is
17		transmitted with a Format TYPE Code of ZERO
18	(2) GNSS Height (HAE) (Ref ARINC 429 Label 370)	in bits 1-5 and the barometric pressure altitude
19		in bits 9 to 20. If neither horizontal position nor
20		barometric altitude information is available, then
21	TIME (T) (§A.1.4.2.2)	all 56 bits of Register 05 ₁₆ are ZEROed. The
22	CPR FORMAT (F) (§A.1.4.2.1)	ZERO Format TYPE Code field indicates that
23	MSB	Latitude and Longitude information is
24		unavailable, while the ZERO altitude field
25		indicates that altitude information is unavailable.
26		
27		
28		
29	CPR ENCODED LATITUDE	
30		
31	(CPR Airborne Format §A.1.7.1 to §A.1.7.10)	
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38	LSB	
39	MSB	
40		
41		
42		
43		
44		
45		
46	CPR ENCODED LONGITUDE	
47		
48	(CPR Airborne Format §A.1.7.1 to §A.1.7.10)	
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		
56	LSB	

8.4 BDS 06. SURFACE POSITION

1		Purpose: To provide accurate surface position information.
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9	FORMAT TYPE CODE (§A.1.4.1)	
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		
25		
26		
27		
28		
29		
30		
31		
32		
33		
34		
35		
36		
37		
38		
39		
40		
41		
42		
43		
44		
45		
46		
47		
48		
49		
50		
51		
52		
53		
54		
55		
56		

MOVEMENT		
Coding	Meaning	Quantization
0	No Movement Info Available	
1	A/C Stopped (GS = 0 knots)	
2	0 knots < GS ≤ 0.125 knot	
3 – 8	0.125 knots < GS ≤ 1.0 knot	0.2700833 km/h
9 – 12	1.0 knots < GS ≤ 2.0 knots	0.25 knot steps
13 – 38	2 knots < GS ≤ 15.0 knots	0.50 knot steps
39 – 93	15.0 knots < GS ≤ 70.0 knots	1.00 knot steps
94 – 108	70.0 knots < GS ≤ 100.0 knots	2.00 knot steps
109 – 123	100.0 knots < GS ≤ 175.0 knots	5.00 knot steps
124	175.0 knots < GS	
125	Reserved for A/C Decelerating	
126	Reserved for A/C Accelerating	
127	Reserved for A/C Backing Up	

8.5 BDS 08. IDENTIFICATION AND CATEGORY

1		Purpose: To provide aircraft identification and category.
2		
3	FORMAT TYPE CODE	
4	(§A.1.4.1)	
5		TYPE Coding:
6		1 = Aircraft identification, Category Set D
7	AIRCRAFT EMITTER CATEGORY	2 = Aircraft identification, Category Set C
8		3 = Aircraft identification, Category Set B
9		4 = Aircraft identification, Category Set A
10	MSB	
11	CHARACTER 1	ADS-B Aircraft Emitter Category coding:
12		
13	LSB	Set A
14		0 = No ADS-B Emitter Category Information
15	MSB	1 = Light (< 15500 lbs)
16		2 = Small (15500 to 75000 lbs)
17	CHARACTER 2	3 = Large (75000 to 300000 lbs)
18		4 = High Vortex Large (aircraft such as B-757)
19		5 = Heavy (> 300000 lbs)
20	LSB	6 = High Performance (> 5g acceleration and 400 kts)
21	MSB	7 = Rotorcraft
22		
23	CHARACTER 3	Set B
24		0 = No ADS-B Emitter Category Information
25	LSB	1 = Glider / sailplane
26		2 = Lighter-than-air
27	MSB	3 = Parachutist / Skydiver
28		4 = Ultralight / hang-glider / paraglider
29	CHARACTER 4	5 = Reserved
30		6 = Unmanned Aerial Vehicle
31	LSB	7 = Space / Trans-atmospheric vehicle
32		
33	MSB	Set C
34		0 = No ADS-B Emitter Category Information
35	CHARACTER 5	1 = Surface Vehicle - Emergency Vehicle
36		2 = Surface Vehicle - Service Vehicle
37	LSB	3 = Point Obstacle (includes tethered balloons)
38		4 = Cluster Obstacle
39	MSB	5 = Line Obstacle
40		6 = Reserved
41	CHARACTER 6	7 = Reserved
42		
43	LSB	
44		Set D (Reserved)
45	MSB	
46	CHARACTER 7	
47		
48		
49		Aircraft Identification coding:
50	LSB	Character coding as specified in §A.1.4.4.
51	MSB	
52		
53	CHARACTER 8	
54		
55		
56	LSB	

8.6 BDS 09. AIRBORNE VELOCITY

Subipos 1 y 2: Velocity over ground

1	MSB	1
2		0
3	FORMAT TYPE CODE = 19	0
4	(j.A.1.4.1)	1
5	LSB	1
6	Subtype 1	0
7		0
8	Subtype 2	0
9		1
10		0
11	INTENT CHANGE FLAG (j.A.1.4.5.3)	
12	RESERVED-A	
13	NAVIGATION ACCURACY CATEGORY FOR VELOCITY (NACv) (j.A.1.4.5.4)	
14	DIRECTION BIT for E-W Velocity (0=East, 1=West)	
15	EAST-WEST VELOCITY (10 bits)	
16	NORMAL : LSB = 1 knot	SUPERSONIC : LSB = 4 knots
17	All zeros = no velocity info	All zeros = no velocity info
18	Value	Velocity
19	1	0 kts
20	2	1 kt
21	3	2 kts
22	---	---
23	1022	1021 kts
24	1023	=>1021.5 kts
25	DIRECTION BIT for N-S Velocity (0=North, 1=South)	
26	NORTH - SOUTH VELOCITY (10 bits)	
27	NORMAL : LSB = 1 knot	SUPERSONIC : LSB = 4 knots
28	All zeros = no velocity info	All zeros = no velocity info
29	Value	Velocity
30	1	0 kts
31	2	1 kt
32	3	2 kts
33	---	---
34	1022	1021 kts
35	1023	=>1021.5 kts
36	SOURCE BIT FOR VERTICAL RATE (0=Geometric, 1=Baro)	
37	SIGN BIT FOR VERTICAL RATE (0=Up, 1=Down)	
38	VERTICAL RATE (9 bits)	
39	All zeros = no vertical rate info, LSB = 64 feet/min	
40	Value	Vertical Rate
41	1	0 ft/min
42	2	64 ft/min
43	---	---
44	510	32576 ft/min
45	511	=> 32608 ft/min
46		
47	RESERVED-B	
48		
49	DIFFERENCE SIGN BIT (0 = Above Baro, 1 = Below Baro Alt)	
50	GEOMETRIC HEIGHT DIFFERENCE FROM BARO ALT. (7 bits) (j.A.1.4.5.7) (All zeros = no info) (LSB = 25 feet)	
51	Value	Difference
52	1	0 feet
53	2	25 feet
54	---	---
55	126	3125 feet
56	127	=> 3137.5 feet

Purpose: To provide additional state information for both normal and supersonic flight.

Subtype Coding:

Code	Velocity	Type
0	Reserved	
1	Ground	Normal
2	Speed	Supersonic
3	Airspeed	Normal
4	Heading	Supersonic
5	Not Assigned	
6	Not Assigned	
7	Not Assigned	

Reference ARINC Labels for Velocity:

East - West	North - South
GPS: 174	GPS: 166
DNS: 367	DNS: 366

Reference ARINC Labels:

GNSS Height (HAE): GPS 370
GNSS Altitude (MSL): GPS: 076

Subtipos 3 y 4: Airspeed and heading

1	MSB	1
2		0
3	FORMAT TYPE CODE = 19	0
4	(§A.1.4.1)	1
5	LSB	1
6	Subtype 3	0
7		1
8	Subtype 4	1
9		0
10		0
11	INTENT CHANGE FLAG (§A.1.4.5.3)	
12	RESERVED-A	
13	NAVIGATION ACCURACY CATEGORY FOR VELOCITY (NAC _v) (§A.1.4.5.4)	
14	STATUS BIT (1 = Heading available, 0 = Not available)	
15	MSB	
16		
17		
18	HEADING (10 bits)	
19	(§A.1.4.5.5)	
20	Resolution = 360/1024 degrees	
21		
22	Reference ARINC Label	
23	DNS: 320	
24	LSB	
25	AIRSPEED TYPE (0 = IAS, 1 = TAS)	
26	AIRSPEED (10 bits)	
27	NORMAL: LSB = 1 knot	SUPERSONIC: LSB = 4 knots
28	All zeros = no velocity info	All zeros = no velocity info
29	Value	Velocity
30	1	0 kts
31	2	1 kt
32	3	2 kts
33	---	---
34	1022	1021 kts
35	1023	> 1021.5 kts
36	SOURCE BIT FOR VERTICAL RATE (0=Geo, 1=Baro)	
37	SIGN BIT FOR VERTICAL RATE (0=Up, 1=Down)	
38	VERTICAL RATE (9 bits)	
39	All zeros = no vertical rate information	
40	LSB = 64 feet/min	
41	Value	Vertical Rate
42	1	0 ft/min
43	2	64 ft/min
44	---	---
45	510	32576 ft/min
46	511	> 32608 ft/min
47	RESERVED-B	
48		
49	DIFFERENCE SIGN BIT (0 = Above Baro, 1 = Below Baro Alt)	
50	GEOMETRIC HEIGHT DIFFERENCE FROM BARO ALT (7 bits) (§A.1.4.5.7) (All zeros = no info) (LSB = 25 feet)	
51	Value	Vertical Rate
52	1	0 ft
53	2	25 ft
54	---	---
55	126	3125 ft
56	127	> 3137.5 ft

Purpose: To provide additional state information for both normal and supersonic flight based on airspeed and heading.

Note: This format is only used if velocity over ground is not available.

Subtype Coding:

Code	Velocity	Type
0	Reserved	
1	Ground	Normal
2	Speed	Supersonic
3	Airspeed	Normal
4	Heading	Supersonic
5	Not Assigned	
6	Not Assigned	
7	Not Assigned	

Reference ARINC 429 Labels for Air Data Source:
IAS: 206
TAS: 210

Reference ARINC Labels:
GNSS Height (HAE): GPS 370
GNSS Altitude (MSL): GPS 076

8.7 BDS 61. AIRCRAFT STATUS

Subtipo 1: Emergency Priority Status

1

2

3

4

5

6

7

8

9

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

38

39

40

41

42

43

44

45

46

47

48

49

50

51

52

53

54

55

56

MSB

FORMAT TYPE CODE = 28
(§A.1.4.1)

LSB

MSB

SUBTYPE CODE = 1

LSB

MSB

EMERGENCY STATE

LSB

MSB

MODE A (4096) CODE
(§A.1.4.7.3)

LSB

RESERVED

PURPOSE: To provide additional information on aircraft status.

Subtype shall be coded as follows:

0 = No information

1 = Emergency/Priority Status and Mode A Code

2 = TCAS RA Broadcast

3 to 7 = Reserved

Emergency state shall be coded as follows:

Value	Meaning
0	No emergency
1	General emergency
2	Lifeguard/Medical
3	Minimum fuel
4	No communications
5	Unlawful interference
6	Downed aircraft
7	Reserved

Notes:

1) Message delivery is accomplished once per 0.8 seconds using the Event-Driven protocol.

2) Termination of emergency state is detected by coding in the surveillance status field of the Airborne Position Message.

3) Subtype 2 message broadcasts take priority over Subtype 1 message broadcasts.

4) Emergency State value 1 is set when Mode A code 7700 is provided to the transponder.

5) Emergency State value 4 is set when Mode A code 7600 is provided to the transponder.

6) Emergency State value 5 is set when Mode A code 7500 is provided to the transponder.

Subtipo 2: TCAS/ACAS RA Broadcast

Register 61 ₁₆	
1	MSB
2	
3	
4	
5	LSB
6	MSB
7	
8	LSB
9	MSB
10	
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	LSB
23	MSB
24	
25	
26	LSB
27	RA TERMINATED
28	MULTIPLE THREAT ENCOUNTER
29	MSB
30	LSB
31	MSB
32	
33	
34	
35	
36	
37	
38	
39	
40	
41	
42	
43	
44	
45	
46	
47	
48	
49	
50	
51	
52	
53	
54	
55	
56	LSB

PURPOSE: To report resolution advisories (RAs) generated by TCAS equipment.

Subtype Coding:

- 0 = No information
- 1 = Emergency/Priority Status
- 2 = TCAS RA Broadcast
- 3 to 7 = Reserved

TCAS RA Broadcast Coding:

The coding of bits 9 to 56 of this Message conforms to the corresponding bits of Register 30₁₆ as specified in Annex 10, Volume IV, §4.3.8.4.2.2.

Notes:

- 1) Message delivery is accomplished once per 0.8 seconds using the event-driven protocol.
- 2) RA Broadcast begins within 0.5 seconds after transponder notification of the initiation of an TCAS RA.
- 3) RA Broadcast is terminated 24 ± 1 seconds after the RAT flag (Annex 10, Volume IV, §4.3.8.4.2.2.1.3) transitions from ZERO (0) to ONE (1).
- 4) Subtype 2 message broadcasts take priority over subtype 1 message broadcasts.

8.8 BDS 62. TARGET STATE AND STATUS

Register 62₁₆

1		PURPOSE: To provide aircraft state and status information.
2		
3	FORMAT TYPE CODE = 29	
4		
5		
6	MSB SUBTYPE CODE = 1	
7	LSB	
8	SIL SUPPLEMENT (0=Per Hour, 1=Per Sample)	
9	SELECTED ALTITUDE TYPE (0=MCP/FCU, 1=FMS)	
10	MSB = 32768 feet	
11	MCP / FCU SELECTED ALTITUDE	
12	(when Selected Altitude Type = 0)	
13	FMS SELECTED ALTITUDE	
14	(when Selected Altitude Type = 1)	
15	Coding: 111 1111 1111 = 65472 feet	
16	*** *****	
17	000 0000 0010 = 32 feet	
18	000 0000 0001 = 0 feet	
19	000 0000 0000 = No data or Invalid	
20	LSB = 32 feet	
21	MSB = 204.8 millibars	
22	BAROMETRIC PRESSURE SETTING (MINUS 800 millibars)	
23	Range = [0, 408.0] Resolution = 0.8 millibars	
24	Coding: 1 1111 1111 = 408.00 millibars	
25	*****	
26	0 0000 0010 = 0.800 millibars	
27	0 0000 0001 = 0.000 millibars	
28	0 0000 0000 = No Data or Invalid	
29	LSB = 0.8 millibars	
30	STATUS (0=Invalid, 1=Valid)	
31	Sign (0=Positive, 1=Negative)	
32	MSB = 90.0 degrees	
33		
34	SELECTED HEADING	
35	Range = [+/- 180] degrees, Resolution = 0.703125 degrees	
36	(Typical Selected Heading Label = "101")	
37		
38		
39	LSB = 0.703125 degrees (180/256)	
40	MSB	
41	NAVIGATION ACCURACY CATEGORY FOR POSITION (NAC _p)	
42	(§A.1.4.9.9)	
43	LSB	
44	NAVIGATION INTEGRITY CATEGORY FOR BARO (NIC _{BARO})	
45	MSB SOURCE INTEGRITY LEVEL (SIL)	
46	LSB	
47	STATUS OF MCP / FCU MODE BITS (0 = Invalid, 1 = Valid)	
48	AUTOPILOT ENGAGED (0 = Not Engaged, 1 = Engaged)	
49	VNAV MODE ENGAGED (0 = Not Engaged, 1 = Engaged)	
50	ALTITUDE HOLD MODE (0 = Not Engaged, 1 = Engaged)	
51	Reserved for ADS-R Flag (see §2.2.18.4.6)	
52	APPROACH MODE (0 = Not Engaged, 1 = Engaged)	
53	TCAS OPERATIONAL (0 = Not Operational, 1 = Operational)	
54	LNAV MODE (0 = Not Engaged, 1 = Engaged)	
55	MSB RESERVED	
56	LSB	

8.9 BDS 65. AIRCRAFT OPERATIONAL STATUS

Register 65₁₆

1	MSB	PURPOSE: To provide the capability class and current operational mode of ATC-related applications and other operational information.. FORMAT TYPE CODE = 31	
2			
3			
4			
5	LSB	Subtype Coding: 0 = Airborne Status Message 1 = Surface Status Message 2-7 = Reserved	
6	MSB		
7	LSB	SUBTYPE CODE = 0	SUBTYPE CODE = 1
8	LSB		LSB
9	MSB	AIRBORNE CAPABILITY CLASS (CC) CODES (§A.1.4.10.3)	
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			
17		SURFACE CAPABILITY CLASS (CC) CODES (§A.1.4.10.3)	
18			
19			
20			
21		LENGTH/WIDTH CODES (§A.1.4.10.11)	
22			
23			
24			
25	MSB	AIRBORNE OPERATIONAL MODE (OM) CODES (§A.1.4.10.4)	
26			
27			
28			
29			
30			
31			
32			
33			
34			
35			
36			
37			
38			
39			
40	LSB		
41	MSB	VERSION NUMBER (§A.1.4.10.5)	
42			
43	LSB	NEC SUPPLEMENT-A (§A.1.4.10.6)	
44			
45	MSB	NAVIGATIONAL ACCURACY CATEGORY - POSITION (NAC _p) (§A.1.4.10.7)	
46			
47	LSB		
48			
49	MSB	GVA	RESERVED
50	LSB	(§A.1.4.10.8)	
51	MSB	SOURCE INTEGRITY LEVEL (SIL)	
52			
53	LSB	(§A.1.4.10.9)	
54	NIC _{BASE}	(§A.1.4.10.10)	TRKHDG (§A.1.4.10.12)
55		HRD (§A.1.4.10.13)	
56		SIL SUPPLEMENT (§A.1.4.10.14)	
		RESERVED for ADS-R	

ANEXO II: FORMATO ASTERIX

Table 2 – ADS-B Reports UAP

FRN	Data Item	Information	Length
1	I021/010	Data Source Identification	2
2	I021/040	Target Report Descriptor	1+
3	I021/161	Track Number	2
4	I021/015	Service Identification	1
5	I021/071	Time of Applicability for Position	3
6	I021/130	Position in WGS-84 co-ordinates	6
7	I021/131	Position in WGS-84 co-ordinates, high res.	8
FX	-	Field extension indicator	-
8	I021/072	Time of Applicability for Velocity	3
9	I021/150	Air Speed	2
10	I021/151	True Air Speed	2
11	I021/080	Target Address	3
12	I021/073	Time of Message Reception of Position	3
13	I021/074	Time of Message Reception of Position-High Precision	4
14	I021/075	Time of Message Reception of Velocity	3
FX	-	Field extension indicator	-
15	I021/076	Time of Message Reception of Velocity-High Precision	4
16	I021/140	Geometric Height	2
17	I021/090	Quality Indicators	1+
18	I021/210	MOPS Version	1
19	I021/070	Mode 3/A Code	2
20	I021/230	Roll Angle	2
21	I021/145	Flight Level	2
FX	-	Field extension indicator	-
22	I021/152	Magnetic Heading	2
23	I021/200	Target Status	1
24	I021/155	Barometric Vertical Rate	2
25	I021/157	Geometric Vertical Rate	2
26	I021/160	Airborne Ground Vector	4
27	I021/165	Track Angle Rate	2
28	I021/077	Time of Report Transmission	3
FX	-	Field extension indicator	-

FRN	Data Item	Information	Length
29	I021/170	Target Identification	6
30	I021/020	Emitter Category	1
31	I021/220	Met Information	1+
32	I021/146	Selected Altitude	2
33	I021/148	Final State Selected Altitude	2
34	I021/110	Trajectory Intent	1+
35	I021/016	Service Management	1
FX	-	Field extension indicator	-
36	I021/008	Aircraft Operational Status	1
37	I021/271	Surface Capabilities and Characteristics	1+
38	I021/132	Message Amplitude	1
39	I021/250	Mode S MB Data	1+N*8
40	I021/260	ACAS Resolution Advisory Report	7
41	I021/400	Receiver ID	1
42	I021/295	Data Ages	1+
FX	-	Field extension indicator	-
43	-	Not Used	-
44	-	Not Used	-
45	-	Not Used	-
46	-	Not Used	-
47	-	Not Used	-
48	RE	Reserved Expansion Field	1+
49	SP	Special Purpose Field	1+
FX	-	Field extension indicator	-

1. INTRODUCTION

1.1 MEMORY DESCRIPTION

This document describes the hardware architecture of the card in which has been implemented in 1090 MHz Extended Squitter ADS-B Ground Station and all software process developed for proper operation according to the rules ED-129, DO-260B and ASTERIX Category 021.

This project was carried out for the IFF ("Identification Friend or Foe") Lab of INDRA Sistemas.

1.2 HISTORY AND EVOLUTION OF MONITORING SYSTEMS



Before using radars for Air Traffic Control, an aircraft's position was calculated by the crew and relayed to controllers by radio.

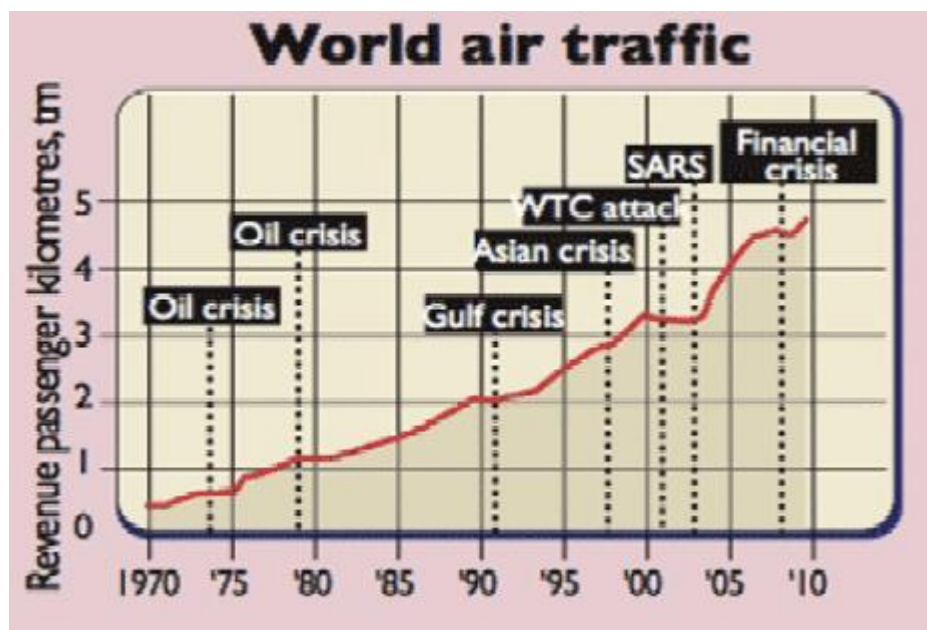
The first surveillance radars came into use during World War II. They used the reflections of electromagnetic waves to determine the distance from the aircraft to the radar station based on the time that passed since the radar broadcasted the signal and it returned. This type of radar is known as PSR (Primary Surveillance Radar). At this moment controllers had a picture of the airspace around them where targets were shown as dots but they couldn't identify them.

Due to the need to identify targets, another innovation emerged during World War II the IFF (Identification Friend or Foe) system was developed to distinguish enemy aircrafts or vehicles using encrypted codes that only allies could decrypt. This system is based on the use of a "transponder", which is a receiver/transmitter unit, aboard the aircraft and an "interrogator" that is usually

located in a ground station. The interrogator transmits an interrogation and the transponder generates a reply according to it.

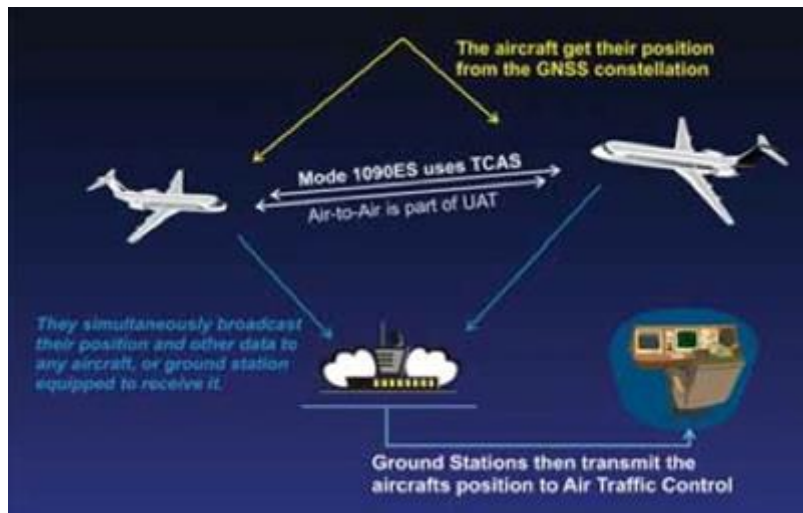
Few years later, in civil field and based on the IFF system, SSR (Secondary Surveillance Radar) was implemented. It is also known as ATCRBS (Air Traffic Control Radar Beacon System) in USA.

Both IFF and SSR have been enhanced to give more details as altitude, position and identification information. The aim of all this technology is that the air traffic controller could locate all aircraft and air traffic control as well. However air traffic as shown in the following image has had an enormous growth over the last years



This growth and the fact that already exist huge areas not guided by ATC (Air Traffic Control) are the reason why is required a system for real-time traffic awareness also for pilots.

ADS-B (Automatic Dependent Surveillance-Broadcast) is a system that provides information about the position and velocity in three dimensions via air-to-air to other aircraft and air-to-surface to the ground station, among other data. In addition, the position is more accurated because it sends the GPS position, thus improving the flow of air traffic. This system could replace radar as the primary method of control of global air traffic.



The ADS-B is an integral component of the NextGen (Next Generation Air Transportation System) in the United States and also is an element of the SESAR (Single European Sky ATM Research). It will be used to upgrade and improve aviation infrastructure and operations.

Canada is already using the ADS-B for air traffic control. In some areas of Australian airspace it is also mandatory. In United States it will not be required until 2020 and in Europe until 2017.

1.3 ORGANIZATION AND STRUCTURE OF THE MEMORY

A brief summary of the chapters of the report is shown below, in order to facilitate the understanding of it.

This memory describes the hardware architecture of the card in which has been implemented in ADS-B Ground Station for ATC use.

Chapter 2: There is a description and a comparison of methods to locate the air traffic.

Chapter 3: It will be discussed the problems generated by the rapid growth in air traffic. It's explained the operation of ADS-B system. In addition, it will be also a list of the requirements for carrying out this project and a proposed system.

Chapter 4: It's explained the process followed to achieve the proper functioning of ADS-B ground receiver considering the requirements previously described

Chapter 5: Several tests are discribed with their respective procedures and results.

Chapter 6: The main ideas, issues, and conclusions resulting from the completion of the project will be exposed.

Chapter 7: In this chapter it will be discuss possible lines of work that could emerge from this work.

Chapter 8: Budget. This section contains an analysis of the costs of the design and development of the Degree's Final Project, detailing the cost of personnel and the necessary equipment to carry out the implementation.

2. CONCLUSION

The aim of this Degree's Final Project was an ADS-B ground station software development.

ADS-B is a system in which electronic equipment onboard an aircraft automatically broadcasts the precise GPS location of the aircraft, identification, altitude and other data via a digital link to other aircrafts or to ground stations to support controllers work.

Ground Station ADS-B should receive Extended Squitters, decode them according to DO-260B standard and manage all targets that are in the airspace within the scope of the antenna. Ground Station ADS-B must be able to process up to 300 target. If received messages pass the corresponding filters, targets have to be updated. And those no longer be updated will be deleted. It also codifies all the information associated with each target in ASTERIX Category 021format because it is the global standard for ATC and ATM, The targets should be sent to the maintenance terminal via Ethernet to the maintenance terminal. This way, they can be processed and displayed on the screen PPI.

It has been tested and checked the correct operation of the complete system fulfilling its goal of locating the air traffic.

3. ABSTRACT

The huge growth in air traffic and the fact that already vast areas are not guided by ATC (Air Traffic Control) requires new developments to provide knowledge of air traffic in real time not only for air traffic controllers but also for pilots.

Current air traffic controllers receive information from a particular aircraft every six or seven seconds. A few years ago this was an appropriate update rate but now it turns out insufficient.

Over congested airports, planes often cycling in altitude “layers”, speeding up and slowing down to get into proper landing sequence. Which is a waste of fuel. To land, aircrafts depend on controllers who give instructions to them by radio in a stream of nonstop oral transmissions. The controllers have to keep everything straight on their radar screens, their minds and on the radio. Theirs is one of the most stressful jobs.

The ADS-B (Automatic Dependent Surveillance- Broadcast) is an air surveillance technology in which airplanes determines its position through GPS navigation system and broadcasts it periodically. Its main feature is that it provides information about the position and velocity in three dimensions via air-to-air to another aircraft and air-to-ground to ground stations, in addition of other information about the aircraft, such as the identification, altitude, heading and state of the target.

Communication between airplanes, let pilots monitor all traffic information around them on a screen onboard known as CDTI (Cockpit Display of Traffic Information) and allow automatic separation. The update rate of position is half a second. Position comes from GPS, that is more reliable than the one obtained from radar. When aircrafts reach the airport, precision navigation, even in poor visibility due to weather conditions, to come straight in. It won't be necessary controllers constantly transmitting, but when pilots require help.

The air-to-ground communication provides air traffic controllers real-time position information obtained from GPS, which is more accurate than the information available in the current radar-based systems. Basically ATC can position and separate aircraft with greater precision and timing doing much smoother air traffic management.

The ADS-B could replace radar as the primary method of global air traffic control.

This project is focused on the air-to-ground communication and more specifically in the ADS-B ground station.

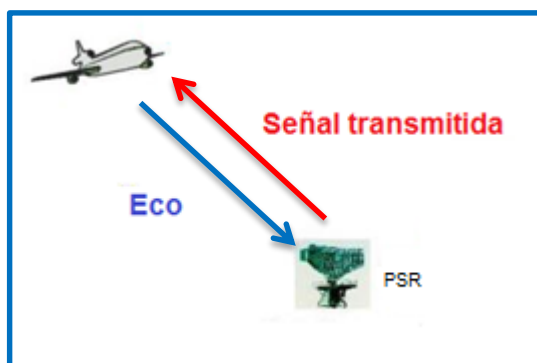
The air-to-ground communication data consists of three modules, the transmitter subsystem, the transport protocol and the receiver subsystem.

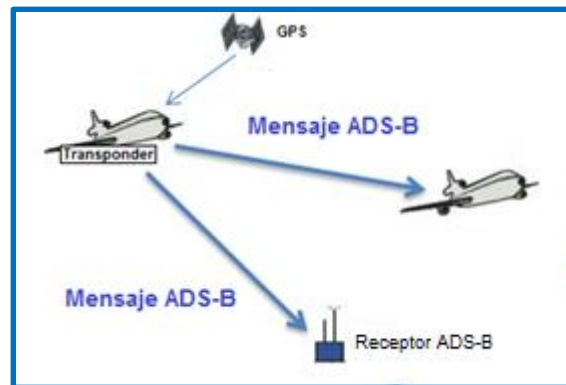
In the aircraft or vehicle surface, the transmission subsystem ADS-B depends on two components on board, a high integrity GPS navigation source and data link (ADS-B unit). There are several types of data links ADS-B certified, VDL Mode 2 or 4, 1090 MHz and 978 MHz Extended Squitter UAT. The most common operates at 1090 MHz, usually a modified Mode S transponder, or 978 MHz. According to the FAA (Federal Aviation Association) aircraft flying below 18,000 feet (5,500 m) should use the 978 MHz link, as this will help to alleviate further congestion of the frequency 1090 MHz.

In this case, one of the requirements of the project is to use 1090 MHz Extended Squitter. It consists of an aircraft broadcasting Squitters Extended messages periodically at 1090MHz. To obtain this, it is possible to install a new transponder manufactured with this functionality or modify an existing one by updating the ADS-B, and installing a certified GPS position source, in case it does not have. The Squitters Extended format is defined by ICAO (International Civil Aviation Organization).

The main functions of ADS-B ground station are to receive Extended Squitters messages that have been broadcasted by airplanes or special surface vehicles, extract data, process it and send information to ATC.

There are several advantages of ADS-B ground station compared to current radars ADS-B does not need power transition to locate the air traffic, ADS-B is passive, reducing consumption Besides this system avoids the risk to staff around and aircraft can't be detected, what is very important in military field; It has more precision in the position because it uses GPS position and the update rate of the data is greater because it receives ADS-B messages every half second; Another advantage is that the cost is considerably lower. However ADS-B doesn't have the capability of datalink as Secondary Radars (communication between interrogator and transponder).

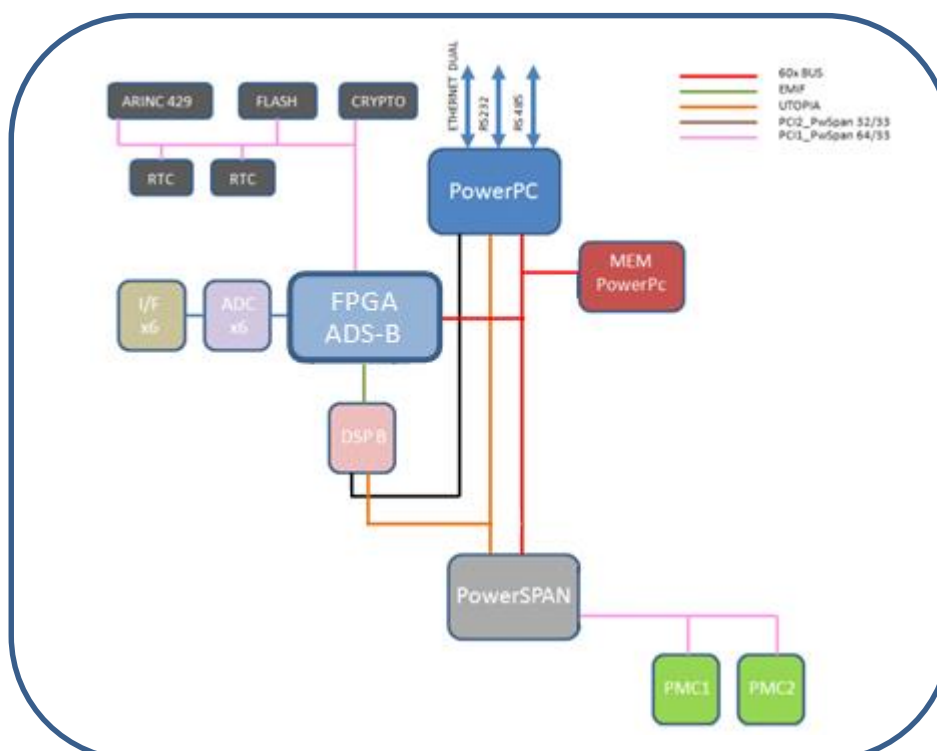




Throughout this document it will be described the architecture of the ADS-B ground station card and software development carried out for its proper functioning. The project was implemented for the IFF (Identification Friend or Foe) Lab of Indra Sistemas. It shall be compliance with DO-260B standard, ED-129 and ASTERIX Category 021.

It also meet certain accuracy, capacity and space requirements. These requirements and the existence of an interrogator (MSSR) in the rack where ADS-B will be placed, supposed to integrate ADS-B in the interrogator card after considering advantages and disadvantages. Some of the advantages are that there is no need to use an additional antenna and hardware interrogator. In addition, although most aircraft already transmit Extended Squitters, it won't be mandatory until 2020 in Eurocontrol area, so it is advisable to use ADS-B to support the Secondary Surveillance Radar until that moment. Otherwise some aircrafts would not be detected by aircraft.

The hardware architecture used for this ADS-B ground receiver is:



Signals received from an omnidirectional antenna are converted into digital signals by analog-digital converters ADCs to be processed by FPGA. The FPGA sends Extended Squitters message blocks to DSPB according to the timing of the video gate. Once messages are in DSP, they are decoded according DO-260B standard. There are seven types of messages to decode:

- Airborne Position
- Surface Position
- Identification and Category
- Airborne Velocity
- Aircraft Status
- Target State and Status Information
- Aircraft Operational Status

Extended Squitters's subfields are shown in Annex I. In addition, this version of the standard indicates that ADS-B have to maintain backward compatibility with previous versions messages of the standard, DO-260 and DO-260A.

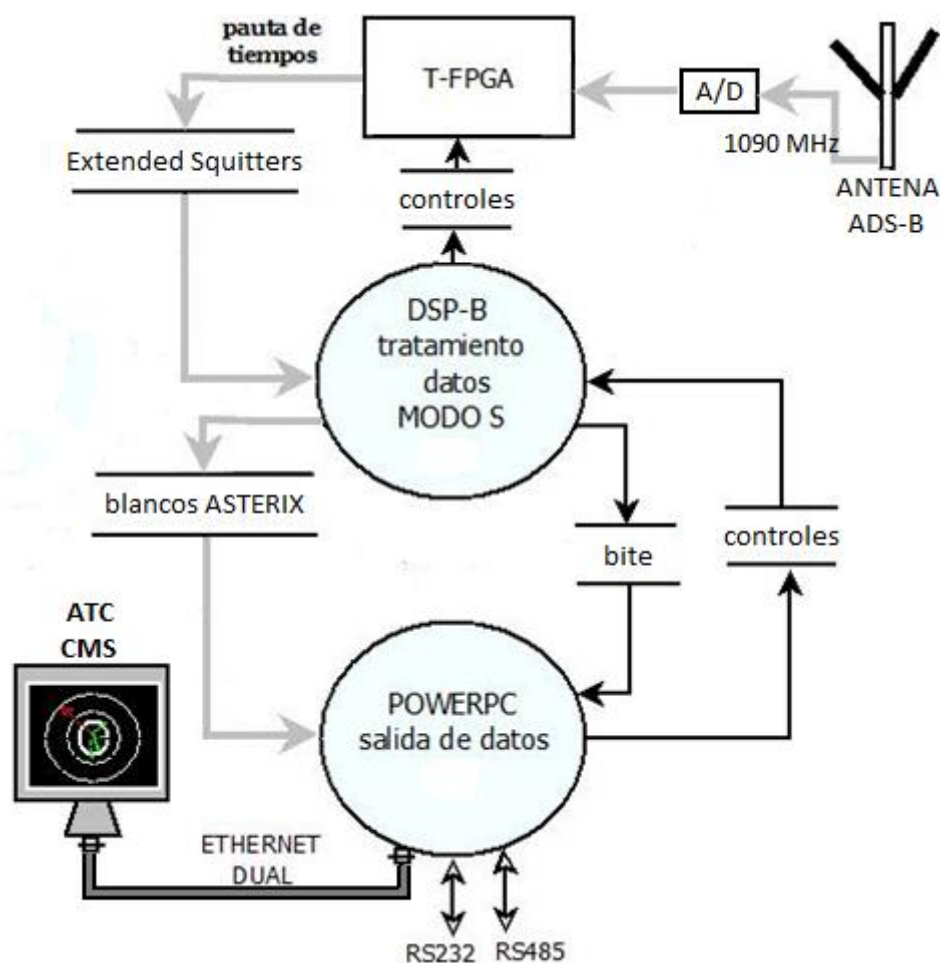
ASTERIX (All Purpose Structured Eurocontrol Radar Information Exchange) is a global controllers standard. The output data of ADS-B ground station must have this format (see Annex II of this document). For the conversion to ASTERIX format, DSP will perform several parameters calculations.

DSP manages information of every target using a doubly linked list ordered by the announced address which is unique for each target. Every time an Extended Squitter message is received, DSP checks if its announced address is already in the list. If it does and it has passed all verification filters defined by the ED-129 standard, the information of that target is updated with the message received. If the target is not in the list, it must also pass some filters and if so, it will be added to the list.

Each target has timers associated to each information subfield. If information has not been updates for a certain time, that information is considered no longer valid so it is eliminated. In addition, all targets have a general timer. If it exceeds the whole target is deleted from the list.

All targets from the list and some important data to analyze the proper operation of the equipment are sent to the PowerPC microprocessor.

The PowerPC, which is shared with the interrogator, aims to analyze the information received. It has also to add the timestamps to every target. Timestamping can not be added in the DSP for lack of local time. Then, it sends all information to a terminal maintenance via Ethernet. Users can see in the maintenance terminal air traffic in a PPI screen. Users can also configure a number of settings and controls to modify the operation of the FPGA and the DSP.



Two types of tests were performed to verify the correct operation of ADS-B ground station. In the first type it is used a target scenarios generator and in the second real aircrafts flying over the area.

The simulator has been used to check the accuracy of the position and analyze the data received and the correct coding in ASTERIX. Real airplanes because could not be used information they were sending was not available. The simulator has also been used to verify that the ADS-B is capable of processing targets at maximum capacitance, and it was impossible to carry out the test with such deal of real aircraft or ground vehicles.

Finally to confirm the correct operation of the complete system of ADS-B ground station, it has been tested with real airplanes.

After making a statistic research of each type of test, the following results have been obtained:

- Position average error is:

	Requirements	Obtained results
Distance	$\pm 0,2$ NM	$\pm 0,06$ NM
Azimuth	$\pm 0,1^\circ$	$\pm 0,002^\circ$
Altitude	± 30 m	$\pm 0,01$ m

- All ASTERIX messages have been decoded by an external software, so it confirms the correct coding of ASTERIX messages.
- Analyzing incoming data in the simulator with outgoing data of ADS-B ground station, it has been verified that they were the same.
- It is capable to operate at maximum required capacitance of targets.
- Se ha verificado el funcionamiento de la cadena completa del sistema.